

Reyes-Buendía, Claudia; Corrales-García, José Joel E.; Peña-Valdivia, Cecilia B.; Hernández Montes, Arturo; Ybarra-Moncada, Ma. Carmen
Sopa de elote (*Zea mays*) tipo crema con mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante, sus características físicas y aceptación sensorial
TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, vol. 23, e20200257, 2020
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores, Plantel Zaragoza

DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.257

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43266574024>



PUBLICACIÓN CONTINUA

ARTÍCULO ORIGINAL

© 2020 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 23: 1-14, 2020.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.257>

Sopa de elote (*Zea mays*) tipo crema con mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante, sus características físicas y aceptación sensorial

Claudia Reyes-Buendía¹, José Joel E. Corrales- García¹,
Cecilia B. Peña-Valdivia^{2*}, Arturo Hernández Montes¹
y Ma. Carmen Ybarra-Moncada¹

¹Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo.

²Programa de Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 35.5, Montecillo 56230, Estado de México, México. E-mail: *cecilia@colpos.mx

RESUMEN

El mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) es un polisacárido calificado como nutracéutico por sus efectos positivos en la fisiología de los humanos. Por otro lado, el mucílago puede usarse como espesante, ya que al hidratarse forma hidrocoloides. El objetivo de este estudio fue adicionar mucílago de nopal a la sopa de elote tipo crema y evaluar su efecto espesante y aceptación sensorial. El mucílago se extrajo de cladodios de *Opuntia* spp. de las variantes Atlixco, Milpa Alta, Toluca, Tobarito y Tuna Blanca. Las concentraciones evaluadas fueron 0.7 y 1.0% y se incluyó almidón como testigo. Con algunas excepciones, la sopa de los 10 tratamientos con mucílago mostró pH (entre 6.09 y 6.32) y viscosidad (entre 6.043 y 1.623 Pa s) sin diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto a los testigos; además, mostró la misma saturación (entre 17.47° y 18.49°), mayor luminosidad (entre 46.15 y 47.72°) y menos color (entre 78.36 y 79.52°). La aceptabilidad sensorial por viscosidad, excepto con mucílago de Atlixco y de Toluca (17 y 7% menor, respectivamente), y la aceptabilidad sensorial global con el mucílago, de las cinco variantes fue hasta 19% menor que la de los testigos. Tendrá que ponderarse el beneficio de adicionar mucílago de nopal a la sopa de elote, para usarse como alimento funcional, sobre su aceptabilidad global.

Palabras clave: alimento funcional, cladodio, espesante, evaluación sensorial, nutracéutico.

Creamy corn (*Zea mays*) soup with nopal (*Opuntia* spp.)
mucilage as thickener, its physical quality and sensory acceptance

ABSTRACT

The mucilage from prickly pears (*Opuntia* spp.) is a polysaccharide classified as nutraceutical because of its beneficial effects on human physiology. On the other hand, it is used as a thickener because when hydrated it forms hydrocolloids. The objective of this study was to add a creamy corn soup with prickly pear mucilage and to evaluate its thickening effect and sensory acceptance. Mucilage was extracted from cladodes of the Atlixco, Milpa Alta, Toluca, Tobarito and Tuna Blanca variants of *Opuntia* spp. The evaluated concentrations were 0.7 and 1.0 % and starch as control. With some exceptions, the soup of the 10 treatments added with mucilage showed not significant differences ($p > 0.05$) in their pH (between 6.09 and 6.32) and its viscosity (between 1.623 and 6.043 Pa s) respect to the controls. Regarding their colour, its chromaticity (between 17.47° and 18.49°) was like the controls, tended to higher luminosity (between 46.15 and 47.72°) and lower tone (between 78.36 and 79.52°). The sensorial soup viscosity acceptability was like that of the controls, except with mucilage of Atlixco and Toluca variants (17 and 7 % lower), and the overall sensorial acceptability of the soups with mucilage of the five variants was up to 19 % lower compared to controls. The benefit to add corn soup with mucilage, to be used as a functional food, must be weighed over its overall acceptability.

Keywords: functional food, cladode, thickener, sensory evaluation, nutraceutical.

Artículo recibido el 15 de mayo del 2020.

Artículo aceptado el 09 de octubre del 2020.



INTRODUCCIÓN

El género *Opuntia* incluye 188 especies entre silvestres y domesticadas, 78 de ellas son nativas de México y cada una incluye numerosas variantes (Anderson, 2001; López-Palacios, Reyes-Agüero, Peña-Valdivia & Aguirre-Rivera, 2019). Este género es un recurso vegetal importante, porque sus cladodios y frutos son alimento para los humanos (Maki-Díaz *et al.*, 2015). Los cladodios de *Opuntia* spp. contienen compuestos químicos con propiedades terapéuticas, que les confieren valor adicional (Lemos *et al.*, 2017; López-Palacios & Peña-Valdivia, 2020); por lo que, se reconocen como alimento funcional (Gouws, Georgousopoulou, Mellor, McKune & Naumovski, 2019). Entre esos componentes están los ácidos fenólicos, terpenoides, flavonoides y polisacáridos no amiláceos, como la celulosa, hemicelulosas, pectinas y mucílagos (García, López, Peña-Valdivia, Romo & Marmolejo, 2018; López-Palacios, Peña-Valdivia, Reyes-Agüero & Rodríguez-Hernández, 2012; López-Palacios y & Peña-Valdivia, 2020; Peña-Valdivia, Trejo, Arroyo-Peña, Sánchez & Balois, 2012). Evidencias científicas han mostrado los efectos de los cladodios y de esos compuestos aislados en la fisiología de los seres humanos, como antioxidantes, antinflamatorios, analgésicos, antiulcerogénicos, antidiabéticos, antihiperlipidémicos, hipocolesterolémicos e hipoglucémicos (Andrade-Cetto & Heinrich, 2005; Bacardi-Gascon, Dueñas-Maceda & Jiménez-Cruz, 2007; Castaneda-Andrade, González-Sánchez & Frati-Murani, 1997; Deldicque *et al.*, 2013; Frati-Murani, Gordillo, Altamirano & Ariza, 1988; Frati, Xilotl, Altamirano, Ariza & López-Ledesma, 1991; Guevara-Cruz *et al.*, 2012; Harrat *et al.*, 2018; López-Romero *et al.*, 2014; Stintzing & Reinhold, 2005).

Específicamente, los cladodios maduros y jóvenes (nopalitos) de *Opuntia* spp. se caracterizan porque contienen mucílago, que es una sustancia polimérica compleja, de naturaleza no amilácea, estructura altamente ramificada, y contenido variable de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Goycoolea & Cárdenas, 2003; Matsuhiko, Lillo, Sáenz, Urzúa & Zárate, 2006). El potencial terapéutico y prebiótico del mucílago del género *Opuntia* incluye: protección contra afección de hígado graso no alcohólico, reumatismo, isquemia cerebral, ciertos tipos de cáncer e infecciones virales y bacterianas, diabetes mellitus tipo 2 (DM2), obesidad (las dos últimas componentes del síndrome metabólico) (Guevara-Araza *et al.*, 2012; Kaur, Kaur & Sharma, 2012; Lee, Jung & Lee, 2012; Lee *et al.*, 2013), inflamación tópica, ulceraciones cutáneas, gastritis y homeostasis de iones intestinales, entre otros padecimientos (Ondarza, 2016; Stintzing & Reinhold, 2005; Vázquez-Ramírez, Olguín-Martínez, Kubli-Garfias & Hernández-Muñoz, 2006). La prevalencia de algunas de estas enfermedades, como DM2, hipertensión y obesidad, y la demanda para su atención es una carga económica global que va en incremento. El control de ellas incluye manejo

de la alimentación y del desarrollo de la enfermedad, uso de medicamentos, y la medicina tradicional, entre otras acciones (Department of Environment, 2019). Una medida para su prevención y manejo es modificar los hábitos de alimentación y nutrición con alternativas de bajo costo y alimentos funcionales a base de plantas (Chandalia *et al.*, 2000; Department of Environment, 2019). Un consenso actual se relaciona con el papel anti-hiperglucemiante de la fibra contenida en los alimentos y sus componentes. Esto se debe, en parte, a que la fibra ralentiza la digestión y la tasa de absorción de glucosa (Onakpoya, O' Sullivan & Heneghan, 2015).

La viscosidad, las propiedades de flujo, el índice de consistencia y la deformación del gel, entre otras propiedades reológicas, son características que sirven para determinar el uso del mucílago del género *Opuntia* como agente espesante, estabilizador de emulsiones y suspensiones (Cárdenas, Goycoolea & Rinaudo, 2008; López-Palacios, Peña-Valdivia, Rodríguez-Hernández & Reyes-Agüero, 2016). El comportamiento reofluidizante o pseudoplástico y de viscosidad del mucílago de las especies de *Opuntia* en suspensiones acuosas o salinas, dependiente de la concentración del polisacárido, es similar a la de algunas gomas, como xantana, de algarrobo, guar y otras, que se usan como agentes espesantes y para modificar la reología de los alimentos (López-Palacios *et al.*, 2016; Solano, Alamilla, Maciel, Dávila & Jiménez, 2018). Actualmente, el mucílago extraído de especies del género *Opuntia* se usa en procesos industriales diversos (Madera-Santana *et al.*, 2018).

Para evaluar la calidad de los productos alimenticios nuevos, mejorar los existentes, y ajustarlos a las demandas de los consumidores es común la evaluación sensorial con métodos de análisis discriminativos, descriptivos y afectivos (cuantitativos o cualitativos). Las pruebas afectivas cuantitativas pueden ser de preferencia, las que obligan a elegir u ordenar uno o pares de productos sobre otros, y de aceptación que determinan el grado de "gusto" por un producto, generalmente mediante una escala hedónica de nueve puntos o escalas faciales (Caspia, Coggins, Schilling, Yoon & White, 2006; Ramírez-Navas, Murcia & Castro, 2014). En las pruebas afectivas cuantitativas es común evaluar atributos individuales para conocer el motivo de aceptabilidad o rechazo. Para esto, en las pruebas se plantean preguntas adicionales, específicas para atributos como apariencia, aroma, sabor, textura, entre otros caracteres. Esos datos pueden obtenerse mediante otras preguntas, como pedir a los panelistas elegir los productos "preferidos" de acuerdo con su color, sabor y aroma; o solicitarles evaluar los atributos utilizando escalas hedónicas, escalas de intensidad y escalas Just About Right (JAR) (Caspia *et al.*, 2006). La escala JAR puede incluir cinco o siete puntos y permite al investigador identificar si un atributo necesita incrementarse o disminuirse (Ramírez-Navas *et al.*, 2014). De acuerdo con Meilgaard, Vance-Civille & Thomas-Carr (2007) los resultados



de la escala JAR no se analizan calculando la respuesta media por la desproporción de la escala; sin embargo, las frecuencias de los valores obtenidos se relacionan con los resultados de la prueba de aceptación en el Análisis de Penalización de Medias (APM). Esto resulta en el estadístico “penalidad”, que indica la magnitud de la penalización al producto por no ser considerado JAR (adecuado).

El objetivo de esta investigación fue evaluar las características físicas y aceptación sensorial de la sopa de elote, tipo crema con mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante, para ofrecer una opción de alimento saludable. La hipótesis fue que la aceptación sensorial de la sopa de elote, tipo crema, es independiente de la variante de nopal fuente del mucílago.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El mucílago se extrajo de cladodios maduros de las variantes (y especies) de *Opuntia*: Atlixco (*O. ficus-indica*), Milpa Alta (*O. ficus-indica*), Toluca (*Opuntia* sp.), Tobarito (*O. megacantha* Salm-Dyck) y Tuna Blanca (*O. ficus-indica*). Las variantes se seleccionaron con base en su importancia comercial y contenido de mucílago (entre 3.8 y 8.6 g 100 g⁻¹

materia seca) documentados por Peña-Valdivia *et al.* (2012). De cada variante se cosecharon 6 kg de cladodios de menos de un año, por triplicado. Las variantes Atlixco, Milpa Alta y Toluca se cosecharon de cultivos comerciales en Puebla, Ciudad de México y Estado de México. Las variantes Tobarito y Tuna Blanca se cosecharon en campos experimentales del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México y Chapingo, Estado de México.

Obtención de mucílago y sus características físicas

El mucílago se extrajo con el método descrito por Sol (2016), con modificaciones (Figura 1). El extracto de los cladodios congelados y triturados se precipitó con etanol; se deshidrató con calor convectivo a 65 °C, se trituró y obtuvo el polvo. El rendimiento del mucílago deshidratado se calculó con la ecuación: Rendimiento (%) = (peso final de mucílago crudo en polvo / peso inicial de pencas) *100.

En los mucílagos se evaluó: humedad por método gravimétrico (después de deshidratarlo a 75 °C), pH con potenciómetro (en solución acuosa; 1:100 p:v) y color, con colorímetro Hunterlab (MiniScan XE Plus; HunterLab Associates Laboratory Inc. Virginia, EUA) de acuerdo con lo descrito por McGuire (1992).

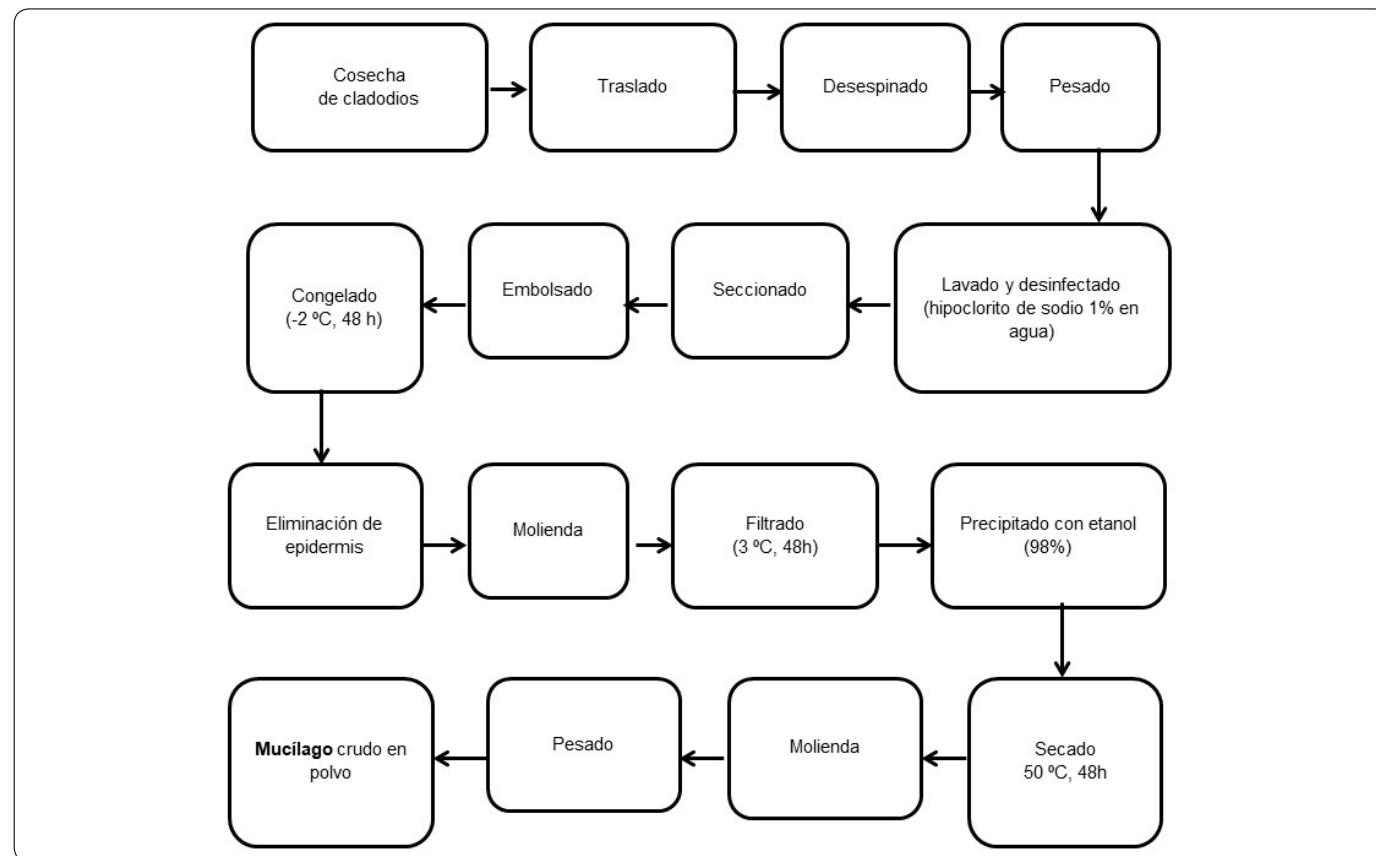


Figura 1. Secuencia de extracción del mucílago de los cladodios del nopal (*Opuntia* spp.), basada y modificada de la descrita por Sol (2016).



Formulación de la sopa de elote tipo crema

La formulación de la sopa (Cuadro I) se definió mediante un ensayo interactivo (Millán, López & Ramón, 2016); en el que se modificaron las proporciones de cada ingrediente y la concentración del mucílago de la variante Milpa Alta hasta tener una formulación que tuviera la viscosidad (2.15 Pa*s), similar a la de una sopa de elote, tipo crema, comercial marca Knorr®. En sopas comerciales se usan como espesantes diferentes gomas o almidón modificado (0.5 - 1.0 %, según la NOM-130-SSA1-1995). En este estudio se utilizó almidón modificado como espesante estándar (testigo) y se le determinó: humedad, pH y color como a los mucílagos.

Cuadro I. Formulación usada para elaborar la sopa de elote, tipo crema.

Ingredientes	Cantidad (g/100 g)
Granos de elote (La Costeña®)	30
Agua purificada (Ciel®)	35
Leche evaporada (Nestlé ®)	29.3
Mantequilla (Iberia®)	2.5
Cebolla fresca	1.5
Sazonador (Knorr®)	0.7
Espesante	0.7 y 1.0

Variables evaluadas en la sopa de elote tipo crema

El pH se midió en muestras de 100 mL con un potenciómetro (Hanna Instruments Inc., Rhode; modelo HI 98140 Island, USA), calibrado con soluciones estándar de pH 4, 7 y 10.

La viscosidad se midió con un viscosímetro Brookfield DV2T (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, USA), con aguja de disco #03 y #04 a 20 rpm por 35 s. Los valores se reportaron en Pascales segundo (Pa s). El cambio de viscosidad de la sopa, en dependencia de la velocidad de deformación, se determinó mediante el registro de los trazos de caída y elevación generados por disminución y aumento de viscosidad (curva de bajada y curva de subida) de la velocidad del rotor en el intervalo de 20 rpm a 160 rpm.

Color

El color se definió mediante el índice de su saturación, luminosidad y ángulo de tono o matiz (HUE). Con un colorímetro Hunter Lab modelo MiniScan XE plus (Hunter Associates Laboratory inc. Virginia, EUA) se midieron, en la escala CIE, las coordenadas cromáticas L, a y b; éstas indican la luminosidad y tonalidad que tienden al rojo (valores positivos o hacia el verde, con valores negativos) y la que tiende al amarillo (valores positivos o hacia el azul, con valores negativos), respectivamente. Esos valores se obtuvieron con el método descrito por McGuire (1992).

A partir de las coordenadas a y b se calcularon el tono e índice de saturación del color. El primero se reportó en grados y se calculó con la ecuación: $HUE = \tan^{-1} (b/a)$ y el índice de saturación mediante la ecuación: $croma = (\sqrt{a^2 + b^2})$.

Evaluación sensorial de la sopa de elote tipo crema

La evaluación sensorial la hizo un panel no entrenado con 100 estudiantes, de pregrado y posgrado, de edades entre los 16 y 30 años. El método de selección de panelistas se basó en preguntar a una población estudiantil, de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo, México, si eran o no consumidores de sopa de elote tipo crema. Los casos afirmativos fueron los participantes. La evaluación se realizó una única vez en el laboratorio de Evaluación Sensorial del mismo Departamento de Ingeniería Agroindustrial. El día previo a la prueba sensorial se preparó 1 litro de sopa de cada tratamiento (Cuadro I). Para la evaluación se utilizaron vasos de polietileno con 15 mL de muestra a temperatura ambiente. A cada panelista se le proporcionaron cinco muestras de la sopa, un vaso con agua y dos formatos de respuesta. En el primero se solicitó evaluar la aceptación global considerando atributos sensoriales generales (sabor, apariencia, textura, color, y olor), con escala hedónica de nueve puntos. En esta, uno significó “me disgusta extremadamente” y nueve significó “me gusta extremadamente”. En el segundo formato los panelistas especificaron la aceptación por viscosidad con escala hedónica y la potencia de la viscosidad, utilizando una escala JAR. Esta incluyó cinco puntos, de los que uno significó “insuficientemente viscosa” y cinco significó “demasiado viscosa”. El APM con los resultados basados en la escala JAR considera los tres niveles colapsados: insuficiente, adecuado y demasiado, medidos con base en la frecuencia y media de aceptación global. La caída de la media de aceptación global para los niveles “insuficiente” y “demasiado” (niveles no-JAR) es la diferencia entre la media de aceptación global del nivel “adecuado” (JAR) y la media de los niveles mencionados. Este valor indica cuántos puntos de gusto se pierden porque el alimento, en este caso la sopa, muestra demasiada o insuficiente viscosidad. Además, el estadístico penalidad, que es la diferencia ponderada entre las tres medias de aceptación (penalidad = media adecuado - media demasiado + insuficiente) indica el valor, en puntos de gusto, que se pierden por falta de viscosidad, es decir por qué la viscosidad es la no deseada por el consumidor. La significancia resulta de la comparación múltiple entre los tres niveles.

Diseño experimental

El diseño experimental para los espesantes fue completamente al azar, con doce tratamientos, que resultaron de la combinación de seis niveles de espesante (mucílago de cinco variantes de nopal y almidón comercial) y dos niveles de concentración de ellos (0.7 y 1.0%), con cinco repeticiones y 250 g de sopa por repetición.



Análisis estadístico de los resultados

Las variables se analizaron con un diseño completamente al azar, mediante ANDEVA y comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$). El ANDEVA y las comparaciones se hicieron para determinar el efecto de la variante en el rendimiento del mucílago, las diferencias en las propiedades físicas (humedad y color) de los espesantes, el efecto del espesante y de su concentración en las propiedades físicas de la sopa (pH, viscosidad y color). El APM se realizó con el programa XLSTAT que utiliza los resultados de aceptación global y de la escala JAR. Las pruebas de aceptación global y aceptación por viscosidad se analizaron con ANDEVA y diferencia mínima significativa (DMS). Para descartar la similitud, entre los espesantes agregados a la sopa, mediante la escala JAR se aplicó la prueba Chi-Cuadrado χ^2 , con la fórmula:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$$

Dónde: O_j son las frecuencias observadas para cada espesante, y E_j representan los promedios de frecuencias por cada nivel de la escala JAR.

RESULTADOS

Humedad y rendimiento del mucílago

La humedad del mucílago en las cinco variantes de nopal fluctuó entre 1.94 en Atlíxco y 2.36% en Toluca (Tuna Blanca: 1.94%, Milpa Alta: 1.99%, y Tobarito: 2.01%), sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las variantes o el almidón comercial (3.35%).

Las diferencias en el rendimiento del mucílago fueron significativas ($p \leq 0.05$) entre las variantes de nopal; de acuerdo con el análisis, se formaron tres grupos. Los grupos con las variantes Atlíxco y Milpa Alta (en promedio 0.398%) y Tobarito y Tuna Blanca (en promedio 0.520%) presentaron 35 y 15% menos polisacárido que la variante Toluca (Figura 2).

Color de los espesantes

Las diferencias en tonalidad, luminosidad y cromaticidad fueron significativas entre el almidón y los mucílagos. El mucílago de la variante Toluca destacó por su cromaticidad, luminosidad y tono significativamente ($p \leq 0.05$) mayores (74, 51 y 5%) que el almidón y el resto de las variantes. El mucílago de la variante Milpa Alta también mostró cromaticidad superior (29%) en comparación con el almidón (Cuadro II).

La luminosidad mostró un gradiente entre las seis muestras. El valor menor lo presentaron los mucílagos de las variantes

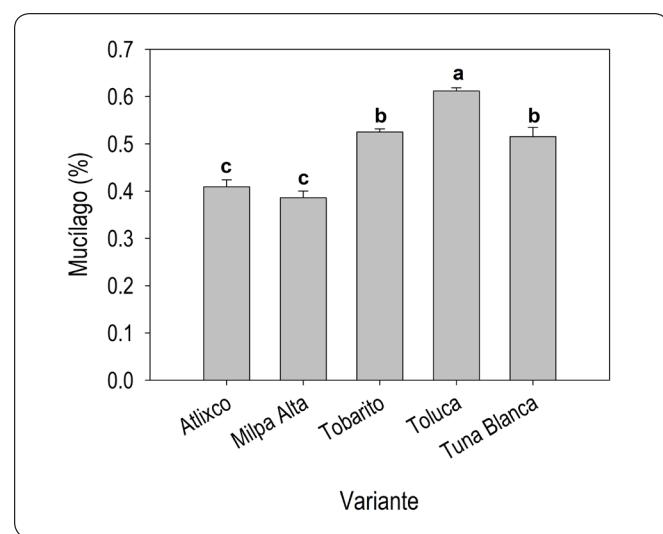


Figura 2. Rendimiento promedio (+ e.e.) del mucílago extraído de los cladodios de variantes de nopal (*Opuntia* spp.). Letras similares sobre las barras indican que los promedios no son significativamente diferentes de acuerdo con la comparación múltiple de las medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Atlíxco y Milpa Alta; ese valor fue 40% menor que el del mucílago de la variante Toluca (Cuadro II). Este último caso fue el único con cromaticidad en el espectro amarillo-verde.

El ángulo de tono mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los mucílagos y entre estos y el almidón. Los valores formaron un gradiente. En este, el valor menor correspondió al mucílago de la variante Milpa Alta y el mayor al de la variante Toluca; la diferencia entre esos valores extremos representó el 15% (Cuadro II). Los valores indicaron que el color de las muestras tendió a ser amarillento. La excepción a esta tendencia fue el mucílago de la variante Milpa Alta que tuvo un ángulo de tono menor del grupo y fue cercano al color anaranjado.

La pureza o mayor intensidad del color correspondió al mucílago de la variante Toluca y le siguió el de las variantes Milpa Alta y Atlíxco; en contraste los mucílagos de las variantes Tuna Blanca y Tobarito presentaron un color menos puro (Cuadro II).

pH y viscosidad de la sopa

El intervalo de pH en la sopa con las dos concentraciones de mucílago de las cinco variantes fluctuó entre 6.09 y 6.32; únicamente los tratamientos con el 1% de mucílago de las variantes Atlíxco y Milpa Alta fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). El pH de la sopa con ambas concentraciones de almidón, como espesante testigo, exhibió valores intermedios en el intervalo mencionado, independiente



Cuadro II. Definición de color del almidón comercial modificado y mucílago extraído de cladodios de cinco variantes de nopal (*Opuntia* spp.).

Espesante	Tono (°)	Luminosidad (°)	Cromaticidad (°)
Almidón	88.13 ± 0.09 b	59.93 ± 0.00 b	4.32 ± 0.01 c
Mucílago			
Variante Atlixco	82.18 ± 1.56 d	54.32 ± 1.48 d	5.77 ± 0.91 bc
Variante Milpa Alta	78.79 ± 0.62 e	54.31 ± 0.71 d	5.59 ± 0.38 b
Variante Tobarito	84.53 ± 0.57 c	56.38 ± 0.30 c	4.65 ± 0.09 bc
Variante Toluca	92.46 ± 0.21 a	90.17 ± 0.68 a	7.52 ± 0.24 a
Variante Tuna Blanca	83.95 ± 0.15 c	56.20 ± 0.23 cd	4.65 ± 0.06 bc

Medias ± d.e. seguidas con la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes de acuerdo con la comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$).

de la concentración, y significativamente menor a la sopa con 1% de mucílago de las variantes Milpa Alta y Toluca, además fue similar al resto de los tratamientos. El pH de la sopa no se modificó con la concentración de cada uno de los espesantes (Figura 3A).

La viscosidad varió entre 1.623 Pa s en la sopa con 0.7% de mucílago de la variante Tobarito, y 6.043 Pa s en la sopa con 1.0% de mucílago de la variante Atlixco. La viscosidad de la sopa, con ambas concentraciones, de almidón como testigo espesante estuvo en el grupo con los valores mayores. La viscosidad de los tratamientos con 0.7% de mucílago fue significativamente similar a la de su testigo; una excepción fue el mucílago de la variante Tobarito, que generó una viscosidad del 60% menor que su testigo. La sopa con 1% de mucílago de las variantes Atlixco, Toluca y Tuna Blanca mostró una viscosidad significativamente similar a su testigo. La misma concentración de mucílago de las otras dos variantes disminuyó la viscosidad entre 43 y 49% respecto a su testigo (Figura 3B).

La viscosidad se modificó significativamente con el cambio de concentración, únicamente con el mucílago de la variante Atlixco; en este caso la viscosidad de la sopa se duplicó. En contraste, los cambios en la viscosidad de la sopa con el incremento de la concentración de mucílago de las variantes Milpa Alta, Tobarito, Toluca y Tuna Blanca no fueron significativos ($p > 0.05$) (Figura 3B).

Definición de color de la sopa

Respecto al color de la sopa, las diferencias cromáticas fueron significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, este carácter del color fluctuó entre 17.47°, en la sopa con 0.7% de almidón como espesante, y 18.49°, con la misma concentración de mucílago de la variante Toluca. Los demás tratamientos mostraron valores entre esos dos extremos, pero no fueron significativamente diferentes a ellos, independientemente de la variante de nopal y concentración de mucílago ($p > 0.05$) (Figura 4A).

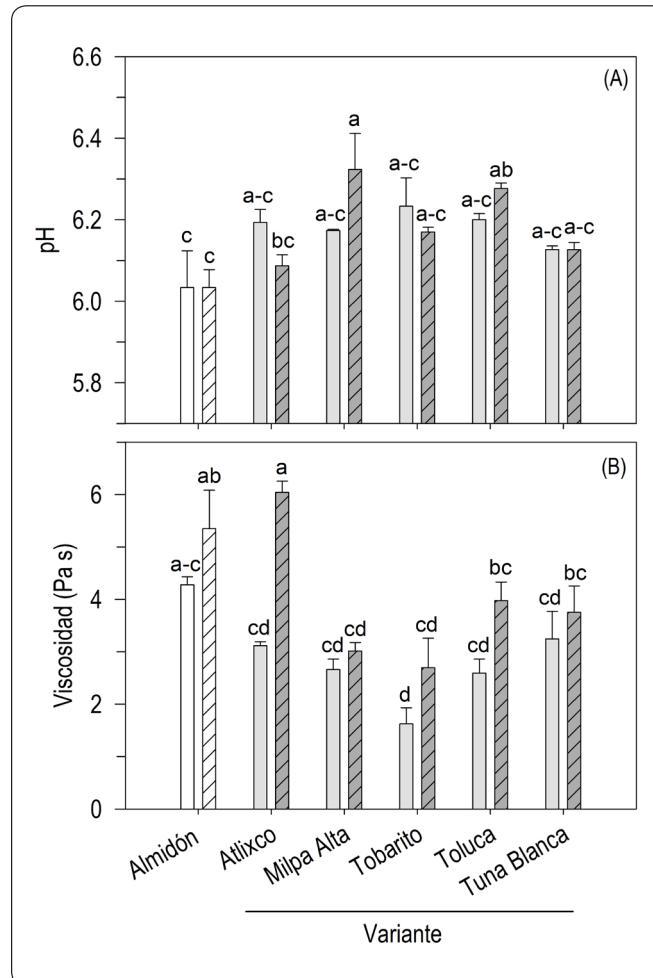


Figura 3. Valores de pH y viscosidad (promedio + e.e.; $n = 4$) de sopa de elote, tipo crema, con almidón comercial (Maizena®) (barras blancas) o mucílago de cladodios de cinco variantes de nopal (*Opuntia* spp.) (barras grises) como espesante al 0.7% (barras vacías) o 1.0% (barras asuradas). comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$). Mismas letras sobre las barras de los 12 tratamientos indican que las medias no son significativamente diferentes de acuerdo con la comparación múltiple de medias por el método de Tukey (alpha = 0.05).

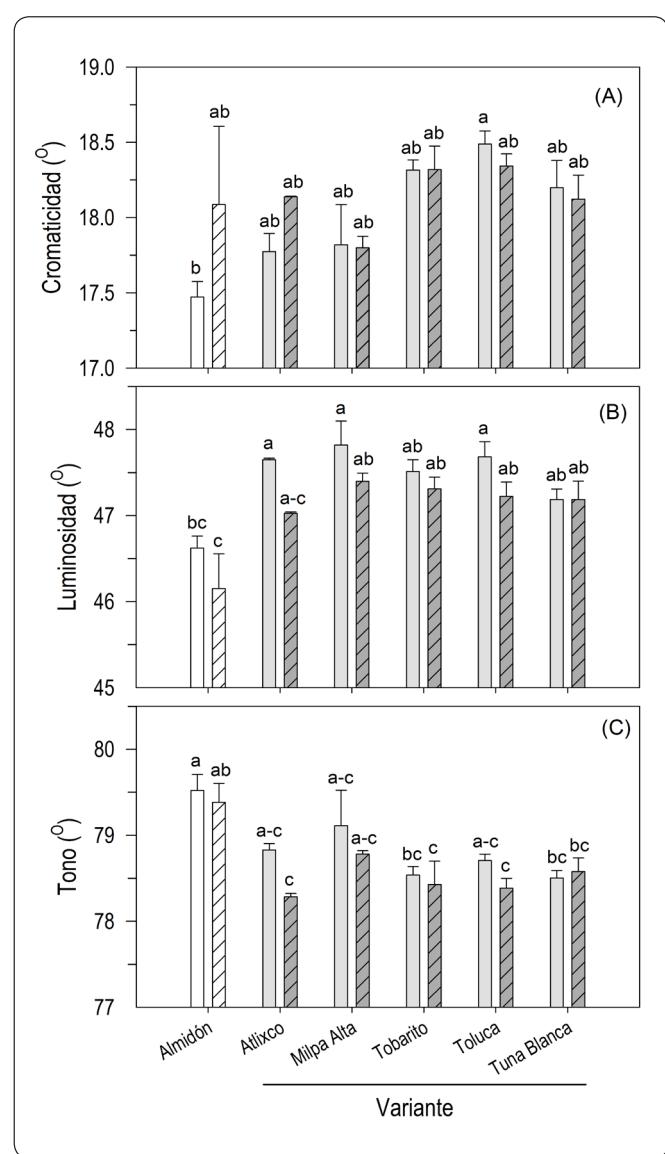


Figura 4. Parámetros de color (promedio + e.e.; n = 4) de sopa de elote, tipo crema, con almidón comercial (barras blancas) o mucílago de cladodios de cinco variantes de nopal (*Opuntia* spp.) (barras grises) como espesante al 0.7% (barras vacías) o 1.0% (barras asuradas). Mismas letras sobre las barras de los 12 tratamientos indican que las medias no son significativamente diferentes de acuerdo con la comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Las diferencias en la luminosidad de los tratamientos fueron significativas ($p \leq 0.05$), los valores fluctuaron entre 46.15°, en el tratamiento con 1% de almidón, y en promedio 47.72°, en los tratamientos con 0.7% de mucílago de las variantes Atlíxco, Milpa Alta y Toluca. El resto de los tratamientos, independientemente de la fuente espesante y de su concentración formaron un grupo con luminosidad intermedia entre esos extremos, sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$) (Figura 4B).

Las diferencias en el tono del color también mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Los valores fluctuaron entre 78.36°, promedio de los tratamientos con 1% de mucílago de Atlíxco, Tobarito y Toluca, y 79.52°, en el tratamiento con 0.7% de almidón. El resto de los tratamientos, independientemente de la fuente espesante y de su concentración presentaron luminosidad intermedia entre esos extremos, sin diferencias significativas entre sí ($p > 0.05$) (Figura 4C).

Valoración sensorial de la sopa de elote tipo crema

La valoración sensorial se obtuvo de los seis tratamientos con 1% de espesante. La selección se fundamentó en los siguientes criterios. Las diferencias en pH, viscosidad y color de la sopa, salvo alguna excepción aquí descrita, no fueron dependientes de la concentración del espesante. Además, el objetivo modular del estudio fue generar un producto alimenticio con mucílago adicionado, por sus propiedades funcionales y los efectos mayores se esperarían con un aumento de la concentración.

Las diferencias en aceptación global y por viscosidad de la sopa fueron significativas ($p \leq 0.05$). Las calificaciones promedio para la aceptación global fluctuaron entre 5.18, para la sopa con mucílago de la variante Atlíxco, y 6.41, con almidón como espesante. Los niveles intermedios de aceptación global correspondieron a la sopa con mucílago de las variantes Milpa Alta > Tobarito y Tuna Blanca > Toluca (Cuadro III).

Las calificaciones promedio de aceptación por viscosidad fluctuaron entre 4.83, para la sopa con mucílago de la variante Atlíxco, y 5.95, en promedio, con mucílago de la variante Milpa Alta y con almidón como espesantes. Además, aunque la aceptación por viscosidad de la sopa con el mucílago de las variantes Tobarito y Tuna Blanca fue ligeramente menor a este último valor, las diferencias no fueron significativas respecto al testigo (Cuadro III).

Cuadro III. Aceptación global y por su viscosidad de sopa de elote, tipo crema, añadida con almidón modificado (1%) o mucílago (1%) de cladodios de cinco variantes de nopal (*Opuntia* spp.). Los resultados son el promedio de las evaluaciones de un grupo de 100 panelistas. Medias seguidas con la misma letra dentro de las columnas no son significativamente diferentes con base en la DMS ($\alpha = 0.05$).

Espesante en la sopa de elote, tipo crema	Aceptación	
	Global	Viscosidad
Almidón	6.41 a	5.84 a
Mucílago de la variante		
Atlíxco	5.18 d	4.83 c
Milpa Alta	5.86 b	5.95 a
Tobarito	5.65 bc	5.58 ab
Toluca	5.37 cd	5.42 b
Tuna Blanca	5.71 bc	5.69 ab



Valoración de la sopa de acuerdo con la prueba JAR

La diferencia entre los espesantes adicionados a la sopa fue significativa; de acuerdo con el análisis, el estadístico χ^2 calculado (146) fue mayor que χ^2 (31.41) en la tabla de distribución Chi-cuadrado. Por lo que, la hipótesis nula que supone igualdad de espesantes se rechazó (Cuadro IV).

Estos resultados complementan los del APM (Cuadro V). De acuerdo con ese análisis, las sopas con almidón, y mucílago de las variantes Milpa Alta y Tuna Blanca como espesante fueron significativamente diferentes al resto de los tratamientos. La penalización para la sopa, con promedio 1.03, correspondiente a los mucílagos de Milpa Alta y Tuna Blanca fue 0.27 mayor que para la sopa con almidón espesante. El mucílago de las variantes Atlixco, Tobarito y Toluca en la sopa no tuvieron efecto significativo, ya que la potencia de la viscosidad en ellas no fue un atributo sensorial suficiente para penalizar la media de aceptación global. Por lo que, el almidón y el mucílago obtenido de Milpa Alta y Tuna Blanca, de acuerdo con los resultados de esta prueba, son candidatos para adicionar a la sopa como espesantes.

DISCUSIÓN

El mucílago de las cinco variantes del presente estudio mostró en promedio un contenido de humedad del 2%, sin diferencias significativas entre las muestras. Este fue un tercio de la documentada (5.6%) por Sepúlveda, Sáenz, Aliaga & Aceituno (2007) en mucílago de cladodios de *Opuntia* spp. La diferencia podría deberse principalmente al tiempo y tipo de secado, ya que la temperatura fue prácticamente similar en ambos estudios (70-75 °C). Aunque los autores no indican el tiempo de secado, señalan que utilizaron un horno con vacío; en contraste, en el presente estudio el mucílago se deshidrató en un horno de convección.

Rendimiento del mucílago

El mucílago puede extraerse de los cladodios y de la cáscara de la fruta de *Opuntia* spp. En general, los métodos utilizados actualmente para extraer estos polisacáridos pueden ser complejos y costosos, según el volumen del disolvente para precipitar y purificar el polisacárido. El rendimiento del mucílago depende de factores como el de los niveles de extracción, parcial o exhaustiva, el de la pureza final y del método utilizado para este fin, ya que, pueden generar mermas. En general, el rendimiento del mucílago puede calificarse bajo, ya que su concentración es limitada en los tejidos vegetales. No obstante, debido al interés industrial emergente, entre ellos el uso de extractos para el tratamiento de afecciones, como en la mucosa gástrica, DM2 y otras, su extracción y caracterización se ha ido incrementando (Ondarza, 2016; Solano *et al.*, 2018).

El contenido de este grupo de polisacáridos en los cladodios de *Opuntia* spp. varía significativamente entre las especies, las variantes de la misma especie y la edad de los cladodios (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.* 2012). Además, el contenido también se modifica por factores como la disponibilidad de humedad en el suelo y la temperatura ambiente en el crecimiento de las plantas y los cladodios (Naod & Tsige, 2012; Nobel, Cavalier & Andrade, 1992; García *et al.* resultados no publicados). De acuerdo con López-Palacios *et al.* (2012) la concentración de mucílago en cladodios jóvenes fue (11.72% de la materia seca; MS) significativamente mayor en *O. ficus-indica*, respecto a otras cuatro especies con grado menor de domesticación y silvestres, como *O. streptacantha* (7.18%); los mismos autores observaron variaciones significativas, del 4 al 12%, entre las variantes de esta especie silvestre. Igualmente, la concentración del mucílago en los cladodios jóvenes de 10

Cuadro IV. Valores de χ^2 para probar la hipótesis de independencia respuesta-producto $\alpha = 0.05$.

Espesante en la sopa	Escala JAR ^a				
	Insuficientemente viscosa	Poco viscosa	Viscosidad adecuada	Muy viscosa	Demasiado viscosa
Almidón	2	15	49	27	7
Mucílago de la variante					
Atlixco	4	14	17	39	26
Milpa Alta	9	35	44	8	4
Tobarito	5	28	49	18	0
Toluca	8	39	36	17	0
Tuna Blanca	0	26	44	26	4
Promedio	4.6	26.1	39.8	22.5	6.8
χ^2 parcial	12.7	19.8	18.5	25.1	69.7
χ^2 total = 146			χ^2 tabla gl (20) y α (0.05) = 31.41		

^a Just About Right.



Cuadro V. Análisis de penalización de la sopa de elote, tipo crema, con almidón modificado (1%) o mucílago (1%) de cladodios, de cinco variantes de nopal (*Opuntia* spp.) como espesante.

Espesante en la sopa	Viscosidad	F ^a (%)	AG ^a	Caída de la media	p-value	Penalidad	p-value	α ^a
Almidón	Insuficiente	17	5.70	1.09	-	0.7567	0.016	SI
	Adecuado	49	6.79					
	Demasiado	34	6.20	0.59	0.052			
Mucílago de la variante								
Atlixco	Insuficiente	18	4.27	1.42	-	0.6336	0.167	NO
	Adecuado	17	5.70					
	Demasiado	65	5.29	0.41	0.302			
Milpa Alta	Insuficiente	44	5.36	1.09	0.001	1.0617	0.002	SI
	Adecuado	44	6.45					
	Demasiado	12	5.50	0.95	-			
Tobalito	Insuficiente	33	5.60	0.18	0.579	0.2861	0.394	NO
	Adecuado	49	5.79					
	Demasiado	18	5.33	0.46	-			
Toluca	Insuficiente	47	5.31	0.43	0.250	0.5938	0.119	NO
	Adecuado	36	5.75					
	Demasiado	17	4.70	1.04	-			
Tuna Blanca	Insuficiente	26	5.07	1.19	0.005	1.0049	0.009	SI
	Adecuado	44	6.27					
	Demasiado	30	5.43	0.83	0.093			

^a F: frecuencia; AG: aceptabilidad global; α: significancia.

cultivares comerciales de *O. ficus-indica* fluctuó entre 3.8 y 8.6% MS (Peña-Valdivia et al., 2012). El rendimiento del mucílago en el presente estudio mostró tendencia parcialmente similar a la descrita por Peña-Valdivia et al. (2012) en las variantes Atlixco, Milpa Alta, Tobarito y Toluca; es decir, el rendimiento de las dos primeras fue de los menores y el de las dos últimas fue el mayor en ambas investigaciones. Sin embargo, en el presente estudio los rendimientos fueron menores que los obtenidos por Peña-Valdivia et al. (2012). Las diferencias en el rendimiento del polisacárido, entre los dos estudios, pueden deberse a que aquí elegimos el método de extracción que incluye lisis del tejido por congelación y extracción por extrusión, la que esta no es exhaustiva (Sol, 2016). En contraste, en las investigaciones de López-Palacios et al. (2012) y Peña-Valdivia et al. (2012) el método incluyó lisis del tejido por congelación en N₂ líquido, trituración y extracción exhaustiva del mucílago en agua a 85 °C. Además, en ambos estudios el polisacárido se purificó por diálisis, con agua, y se deshidrató por liofilización.

El rendimiento del mucílago de la variante Toluca nos dio una cantidad cercana al 50% del obtenido por Sepúlveda et

al. (2007) de pencas de *O. ficus-indica* de dos a tres años, después de 8 h de extracción a 40 °C y relación 1:5 de penca:agua. Los autores documentaron que el rendimiento fue independiente tanto de la temperatura (16 y 40 °C) como del tiempo de extracción (4 a 16 h) y del tipo o de la proporción de alcohol para precipitar el polisacárido (etanol o isopropanol, 1:3 o 1:4 v:v), pero no de la relación penca:agua para extracción. En contraste, el rendimiento del mucílago en este estudio fue 10 veces mayor al que obtuvieron Cárdenas, Higuera-Ciapara & Goycoolea (1998) de pencas de *O. ficus-indica*.

El rendimiento también parece dependiente de la solubilidad del polisacárido. Al respecto, López-Palacios et al. (2016) señalaron que los resultados sobre la reología del mucílago permiten suponer que las tasas bajas de flujo de los mucílagos de nopalitos de *O. ficus-indica* se relacionan con la facilidad para eliminar estos polisacáridos, en el caldo de cocción, respecto a las especies silvestres. El contenido de mucílago en los cladodios varía con el clima en el que crecen los cladodios, como la disponibilidad de humedad durante el desarrollo (Peña-Valdivia, resultados no publicados).



pH de la sopa

El pH de la sopa entre los tratamientos con mucílago varió sin diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto a sus testigos con almidón; pero, hubo dos excepciones, estas fueron la sopa con 1% de mucílago de las variantes Milpa Alta y Toluca, que presentaron acidez ligeramente mayor (0.29 y 0.24 de unidad de pH) que el testigo. Esto indicó que, aunque el mucílago de las cinco variantes fue significativamente más ácido (entre 0.47 y 0.89 de unidad de pH) que el almidón, los otros ingredientes de la sopa amortiguaron el cambio de pH.

En este estudio el pH del mucílago mostró diferencias significativas entre las variantes, el hidrocoloide más ácido correspondió a las variantes Tobarito y Tuna Blanca (con pH 5.5 y 5.6). Estos valores son similares al documentado por Vargas, Vera & Suppé (2019) en el hidrocoloide, al 1%, extraído de los cladodios de *O. ficus-indica* (pH 5.45). De acuerdo con los resultados de estos autores el pH mostró relación inversa con la concentración, pues con 8% el pH fue 5.22. Al respecto, la acidez del hidrocoloide del mucílago resulta de la presencia de cierta cantidad de ácido galacturónico en el polisacárido (Cárdenas *et al.*, 2008). García *et al.* (2018) documentaron concentraciones entre 1.45 y 5.05 mMoles de ácido galacturónico por 100 mg del mucílago deshidratado de catorce variantes de *Opuntia* spp., silvestres y con grado diferente de domesticación. Estos autores determinaron 50% más de ácido galacturónico en el mucílago de las variantes de *O. ficus-indica*, con mayor nivel de domesticación, respecto a *O. streptacantha*, calificada como silvestre. Por lo anterior, el pH de los productos con mucílago adicionado podría depender parcialmente de la variante fuente del polisacárido y de la concentración utilizada.

Definición del color de la sopa

El color (tono o matiz) de la sopa con almidón comercial como espesante y las que contenían mucílago fue amarillo; y el tono de los mucílagos aislados se identificó en el espacio amarillo-verde. Este fue parcialmente diferente al color mostaza documentado en el mucílago aislado de cladodios de *O. ficus-indica* por Vargas-Rodríguez *et al.* (2016). El ángulo de tono de la sopa espesada con almidón fue de 79.5°, independientemente de la concentración de almidón espesante; seis de los diez tratamientos con mucílago no mostraron diferencias significativas en el matiz respecto a su testigo. Los tratamientos con diferencia significativa en el ángulo de tono respecto a su control no mostraron alguna relación identificable con la concentración de mucílago o variante de procedencia; además, en todos estos casos el tono disminuyó máximo sólo 1% respecto a su testigo. Estos resultados tampoco parecen relacionarse con el tono de los mucílagos aislados o sus diferencias significativas entre ellos y respecto al almidón espesante. La tendencia no significativa de matiz mayor en los tratamientos con concentración menor de mucílago indica que el matiz de la mezcla del resto de

los ingredientes de la sopa tiende a predominar en este componente del color.

Las diferencias cromáticas (índice de saturación del color) de la sopa con mucílago no fueron significativas ($p > 0.05$) respecto al testigo, con ninguna de las concentraciones o variantes del nopal. Los valores del color en todos los tratamientos fueron al menos cuatro veces mayores que los de los espesantes aislados, incluyendo el almidón, y las diferencias significativas entre estos no mantuvieron la misma tendencia en la sopa.

La luminosidad de la sopa se incrementó un 70% en los tratamientos con mucílago, respecto a los testigos espesados con almidón. Aunque, los incrementos fueron significativos ($p \leq 0.05$) representaron sólo entre 2 y 3%. Con 1% de mucílago de la mayoría de las variantes y con 0.7% de las variantes Milpa Alta y Toluca se generaron los incrementos. Estos resultados son acordes con la luminosidad significativamente mayor del mucílago aislado de la variante Toluca, respecto al almidón; los de las otras variantes mostraron luminosidad menor que el testigo. Independientemente de estas diferencias, puede decirse, salvo algunas excepciones, que ambas concentraciones de mucílago de las cinco variantes de las que se extrajo el polisacárido mejoraron parcialmente el color de la sopa.

Viscosidad de la sopa

En el 70% de los tratamientos la viscosidad de la sopa con mucílago fue similar a sus testigos ($p > 0.05$). Las diferencias en viscosidad de la sopa con 0.7 % de mucílago no fueron significativas respecto a su testigo; la excepción fue el mucílago de la variante Tobarito, que la disminuyó 38%, respecto a su testigo. Con 1% de mucílago de las variantes Atlixco, Toluca y Tuna Blanca tampoco se presentaron diferencias significativamente en la viscosidad de la sopa respecto al testigo; pero, con esta concentración mayor, el mucílago de las variantes Milpa Alta y Tobarito disminuyó entre el 42 y 62% la viscosidad de la sopa. El efecto de disminución de la viscosidad fue parcialmente independiente de la variante; ya que, únicamente el mucílago de Tobarito modificó la viscosidad con ambas concentraciones. Por lo que, la viscosidad de los productos con mucílago de nopal adicionado deberá evaluarse para asegurar los valores típicos que definen su calidad.

De acuerdo con Calvo-Arriaga, Hernández-Montes, Peña-Valdivia, Corrales-García & Aguirre-Mandujano (2010) la viscosidad inicial del mucílago de nopal que permanece en los cladodios después de la cocción de la variante Tobarito fue 2.35 veces menor a la de las variantes Copena F1, Copena V1 y Milpa Alta. También, López-Palacios *et al.* (2016) documentaron la diferencia en la viscosidad de los mucílagos de *O. ficus-indica* y *O. streptacantha*, en dispersiones



acuosas; los autores propusieron que las diferencias pueden resultar de la organización e interacciones moleculares de los polisacáridos en la dispersión que, a la vez, se relacionan con el peso molecular y estructura de las macromoléculas, incluyendo el número de cadenas laterales. Estas y otras características de los mucílagos podrían ayudar a explicar las diferencias en su viscosidad en el presente estudio.

Para conocer parcialmente las características viscoelásticas de la sopa con mucílago adicionado, en un tratamiento al azar se evaluó la viscosidad de la sopa en dependencia de la velocidad de deformación (Figura 5). La ecuación que describe la relación exponencial inversa entre la viscosidad de la crema de elote con mucílago, y la velocidad de rotor fue: $\eta = 14.36 V^{-0.5783}$, donde η es la viscosidad de la crema (Pa s) y V es la velocidad del rotor del viscosímetro (rpm). Esta ecuación fue equivalente a $\eta = 12.57 V^{-0.809}$, que corresponde a la de una sopa comercial, tipo crema, con sabor a pollo, y espesada con goma xantana (Ospina, 2016).

De acuerdo con Brookfield Engineering Lab. Inc. (2000), la ecuación y el valor del exponente de la velocidad del rotor describen a la sopa con mucílago como fluido no newtoniano con comportamiento tixotrópico (disminución de la viscosidad con el tiempo de aplicación de cizalla). Estas características son frecuentes en alimentos; entre ellos están las pastas que contienen almidón, sopa tipo crema, gelatinas, mayonesas y polímeros fluidos (Beltrán & Marcilla, 2012). Similarmente, el mucílago aislado de cladodios de diversas variantes y especies de *Opuntia*, en dispersiones acuosas, mostró comportamiento no-newtoniano de adelgazamiento

por cizallamiento (Calvo-Arriaga et al., 2010; López-Palacios et al., 2016; Medina-Torres, Brito de la Fuente, Torrestiana-Sánchez & Katthain, 2000).

Aceptación de la sopa

La prueba de aceptación global es frecuente realizarla en alimentos nuevos (Caspia et al., 2006; Ramírez-Navas et al., 2014). En el presente estudio, la evaluación de aceptación por viscosidad se incluyó, porque es un carácter del mucílago en los cladodios y está relacionado con la aceptabilidad para los consumidores (Calvo-Arriaga et al., 2010). Aunque la aceptación por viscosidad en los tratamientos con mucílago de las variantes Milpa Alta, Tobarito y Tuna Blanca no fue diferente al testigo, la aceptación global de estos tres tratamientos sí fue significativamente menor. Así, los resultados mostraron que únicamente la sopa con mucílago de las variantes Atlíxco y Toluca tuvieron una aceptación menor por viscosidad y global.

El análisis de penalización mostró, de acuerdo con la significancia, que la sopa espesada con almidón y con el mucílago de las variantes Milpa Alta y Tuna Blanca no presentaron la viscosidad adecuada para los evaluadores. Pero, contrario a lo esperado, los evaluadores penalizaron fuertemente la viscosidad insuficiente de la sopa de estos tres tratamientos. Es decir, una característica intrínseca del mucílago de las cactáceas es incrementar la viscosidad del medio acuoso en el que se dispersa (Calvo-Arriaga et al., 2010; Cárdenas et al., 1998; López-Palacios et al., 2016); por lo que, se esperaba que la penalización hubiera sido por demasiada viscosidad de la sopa. Así, el mucílago de las variantes Milpa Alta y Tuna Blanca podría adicionarse en concentraciones mayores al 1%.

Asimismo, coincidió que la sopa de los tratamientos con la aceptación global mayor y por su viscosidad fueron las espesadas con almidón comercial y con mucílago de las variantes Milpa Alta y Tuna Blanca y estas también fueron significativas en el análisis de la penalización de medias. Al contrario, la sopa de los tratamientos no significativos fueron las espesadas con mucílago de las variantes Atlíxco, Tobarito y Toluca y las que tuvieron la aceptabilidad menor. Destacó que la sopa con mucílago de la variante Atlíxco fue considerada por el 65 % de los panelistas como muy y demasiado viscosa, por lo que obtuvo la menor aceptación en viscosidad.

Los valores de aceptación global del presente estudio son cercanos a los documentados por Ravindran & Matia-Merino (2009) en sopas cremosas rehidratadas con sabor a pollo, y con almidón modificado de maíz (5.0 %) como espesantes o con polisacáridos de fenogreco en proporciones de 0.1, 0.2, 0.5, 0.7 o 0.9 %. En ese estudio la aceptabilidad varió entre 6.0 y 7.5.

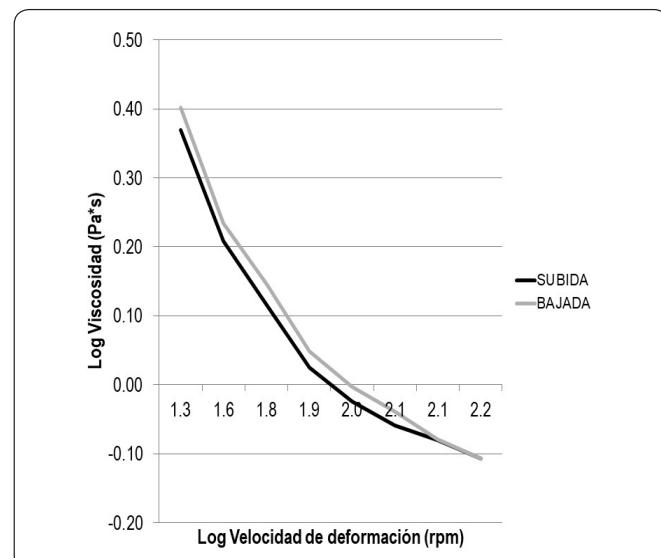


Figura 5. Viscosidad de la sopa de elote, tipo crema, con 1% de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) de la variante Milpa Alta, como espesante, en dependencia de la velocidad de deformación.



La viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura y depende de factores como la cohesión de las partículas del fluido, esta puede ser variable dependiendo del esfuerzo de corte aplicado (Beltrán y Marcilla, 2012). Los valores de la viscosidad durante las mediciones dependen de factores como la concentración del polisacárido y la temperatura, entre otros. De acuerdo con estos señalamientos, se esperaría que la viscosidad de los alimentos espesados con mucílago de nopal dependa de la concentración, la especie o variante fuente del polisacárido y del tipo de alimento elaborado. Así, la aceptación de los productos a los que se les adicione mucílago de nopal puede ser mayor dependiendo del tipo de producto alimenticio.

CONCLUSIONES

El mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) de las variantes Atlixco, Milpa Alta, Tobarito, Toluca y Tuna Blanca es candidato para adicionar a la sopa de elote tipo crema, porque en general, iguala características físicas, como pH, color, y viscosidad de la sopa espesada con almidón comercial. Debido a su carácter funcional, el mucílago podría considerarse más adecuado como espesante que el almidón. De acuerdo con los resultados de evaluación sensorial global, en contraste con la evaluación por viscosidad, tendrá que ponderarse el beneficio de adicionar mucílago a la sopa de elote para usarse como alimento funcional.

REFERENCIAS

- Anderson, E. F. (2001). The cactus family. *Plant Systematics and Evolution*, **228** (3), 250-253.
- Andrade-Cetto, A. & Heinrich, M. (2005). Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, **99** (3), 325-348. DOI: 10.1016/j.jep.2005.04.019
- Bacardi-Gascon, M., Dueñas-Maceda, D. & Jimenez-Cruz, A. (2007). Lowering effect on postprandial glycemic response of nopales added to Mexican breakfasts. *Diabetes Care*, **30** (5), 1264-1265. DOI: 10.2337/dc06-2506
- Beltrán, R. M. & Marcilla, G. A. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante. España: UNE. ISBN: 978-84-9717-232-5.
- Brookfield Engineering Lab. Inc. (2000). More solutions to sticky problems. <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/tech%20sheets/more%20solutions%202017.pdf?la=en>
- Calvo-Arriaga, A. O., Hernández-Montes, A., Peña-Valdivia, C. B., Corrales-García J. & Aguirre-Mandujano, E. (2010). Preference mapping and rheological properties of four nopal (*Opuntia* spp.) cultivars. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, **12**, 127-142.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. & Goycoolea, F. M. (1998). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, **2**, 152-159.
- Caspia, E. L., Coggins, P. C., Schilling, M. W., Yoon Y. & White, C. H. (2006) The relationship between consumer acceptability and descriptive sensory attributes in cheddar cheese. *Journal of Sensory Studies*, **21**: 112-127. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2006.00054.x>
- Castaneda-Andrade, I., Gonzalez-Sanchez, J. & Frati-Murani, A. C. (1997). Hypoglycemic effect of an *Opuntia streptacantha* Lemaire dialysate. *Journal of Professional Association for Cactus Developmen*. **2**, 73-75.
- Cárdenas, A., Goycoolea, F. M. & Rinaudo, M. (2008). On the gelling behavior of 'nopal' (*Opuntia ficus-indica*) low methoxyl pectin. *Carbohydrates Polymers*, **73** (2), 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.017>
- Chandalia, M., Garg, A., Lutjohann, D., Von Bergmann, K., Grundy, S. M. & Brinkley, L. J. (2000). Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *The New England Journal of Medicine*, **342**, 1392-1398.
- Deldicque, L., Van Proeyen, K., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H. & Hespel, P. (2013). Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *Journal of the International Society of Sports Nutrrition*, **10**(45), 1-6. DOI: 10.1186/1550-2783-10-45
- Department of Environment. 2019. *Opuntia* spp. https://www.environment.gov.au/cgi-bin/biodiversity/invasive/weeds/weeddetails.pl?taxon_id=82753
- Frati-Murani, A. C., Gordillo, B. E., Altamirano, P. & Ariza, C. R. (1988). Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care*, **11** (1), 63-66. DOI: 10.2337/diacare.11.1.63
- Frati, A. C., Xilotl, D. N., Altamirano, P., Ariza, R. & López-Ledesma, R. (1991). The effect of two sequential doses of *Opuntia streptacantha* upon glycemia. *Archivos de Investigación Médica*, **22** (3-4), 333-336.
- García, N. F., López, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Romo, G. C., & Marmolejo, S. Y. (2018). Chemical characteristics of non-starch polysaccharides of *Opuntia* cladodes as evidence of changes through domestication. *Food Bioscience*, **22**, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.01.005>
- Gouws, C. A., Georgousopoulou, E. N., Mellor, D. D., McKune, A. & Naumovski, N. (2019). Effects of the consumption of prickly pear cacti (*Opuntia* spp.) and its products on blood glucose levels and insulin: a systematic review. *Medicina*, **55**(5), 138-156. DOI: 10.3390/medicina55050138. PMID: 31096667
- Goycoolea, F. M. & Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia* spp.: A short review. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, **5**, 17-23.
- Guevara-Araza, J. C., Ornelas-Paz, J. J., Pimentel-González, D. J., Rosales, M. S., Soria, G. R. E., & Paz, L. M. T. (2012). Prebiotic effect of mucilage and pectic-derived



- oligosaccharides from Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Food Science and Biotechnology*. **21**(4), 997-1003. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0130-1>
- Guevara-Cruz, M., Tovar, A. R., Aguilar-Salinas, C. A., Medina-Vera, I., Gil-Zenteno, L., Hernández-Viveros, I., López-Romero, P., Ordaz-Nava, G., Canizales-Quinteros, S., Guillen, P. L. E. & Torres, N. (2012). A dietary pattern including nopal, chia seed, soy protein, and oat reduces serum triglycerides and glucose intolerance in patients with metabolic syndrome. *Journal of Nutrition*. **142**(1), 64-69. DOI: 10.3945/jn.111.147447
- Harrat, N. I., Louala, S., Bensalah, F., Affane, F., Chekkal, H. & Lamri, S. (2018). Anti-hypertensive, anti-diabetic, hypocholesterolemic and antioxidant properties of prickly pear nopalitos in type 2 diabetic rats fed a high-fat diet. *Nutrition & Food Science*. **49**(3), 476-490. <https://doi.org/10.1108/NFS-06-2018-0169>
- Kaur, M., Kaur, A. & Sharma, R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus-indica*: A Review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. **2** (7), 15-18. DOI:10.7324/JAPS.2012.2703
- Lee, J. A., Jung, B. G. & Lee, B. J. (2012). Inhibitory effects of *Opuntia humifusa* on 7, 12-dimethyl- benz[a]anthracene and 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate induced two-stage skin carcinogenesis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. **13** (9), 4655-4660. DOI: 10.7314/APJCP.2012.13.9.4655
- Lee, J. A., Jung, B. G., Kim, T. H., Lee, S. G., Park, Y. S. & Lee, B. J. (2013). Dietary feeding of *Opuntia humifusa* inhibits UVB radiation-induced carcinogenesis by reducing inflammation and proliferation in hairless mouse model. *Photochemistry and Photobiology*. **89**, 1208-1215. DOI: 10.1111/php.12113
- Lemos, A. F., Pereira de A, A., Alcantara, B. R de L., Cordeiro dos Santos, D., Rodrigues M. A. & Soares da Silva D. (2017). Chemical and nutritional variability of cactus pear cladodes, genera *Opuntia* and *Nopalea*. *American Journal of Food Technology*. **12**, 25-34. DOI: 10.3923/ajft.2017.25.34
- López-Palacios, C. & Peña-Valdivia, C. B. (2020). Screening of secondary metabolites in cladodes to further decode the domestication process in the genus *Opuntia* (Cactaceae). *Planta*. **251** (74), 1-14. DOI: 10.1007/s00425-020-03371-9
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero J. A. & Rodríguez-Hernández, A. I. (2012). Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalito (*Opuntia* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. **59** (6), 1015-1026. DOI: 10.1007/s10722-011-9740-3
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Rodríguez-Hernández, A. I. & Reyes-Agüero J. A. (2016). Rheological flow behavior of structural polysaccharides from edible tender cladodes of wild, semidomesticated and cultivated 'nopal' (*Opuntia*) of Mexican highlands. *Plant Foods for Human Nutrition*. **71** (4), 388-395. DOI: 10.1007/s11130-016-0573-2
- López-Palacios, C., Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B. & Aguirre-Rivera, J. R. (2019). Physical characteristics of fruits and seeds of *Opuntia* sp. as evidence of changes through domestication in the Southern Mexican Plateau. *Genetic Resources and Crop Evolution*. **66** (2), 349-362. DOI: 10.1007/s10722-018-0712-8
- López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri J. & Torres, N. (2014). The effect of nopal (*Opuntia ficus indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and antioxidant activity in Mexican patients with type2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. **114** (11), 1811-1818. DOI: 10.1016/j.jand.2014.06.352
- Madera-Santana, T. J., Vargas-Rodríguez, L., Núñez-Colin, C. A., González-García, G., Peña-Caballero, V., Núñez-Gastélum, J. A., Gallegos-Vázquez, C. & Rodríguez-Núñez, J. R. (2018). Mucilage from cladodes of *Opuntia spinulifera* Salm-Dyck: chemical, morphological, structural and thermal characterization. *CyTA - Journal of Food*. **16** (1), 650-657. DOI: 10.1080/19476337.2018.1454988
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G. & Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*. **49**(1), 31-35.
- Matsuhiro, B., Lillo, L., Sáenz, C., Urzúa, C. & Zárate, O. (2006). Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Polymers*. **63**(2), 263-267. DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.08.062
- Meilgaard, M., Vance-Civille, G., Thomas-Carr, B. (2007) *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press 4a edición.
- Medina-Torres, L., Brito de la Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B. & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*). *Food Hydrocolloids*. **14**(5), 417-424. DOI: 10.1016/S0268-005X(00)00015-1
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science*. **27**(12), 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Millán, M., López, M. & Ramón, A. (2016). Obtención de goma de semillas de algarroba (*Prosopis alba*) y su utilización en formulaciones alimenticias. *Diaeta*. **34**(157), 28-33.
- Naod, G. & Tsige, G. (2012). Comparative physico-chemical characterization of the mucilages of the two cactus pears (*Opuntia* spp.) obtained from Mekellem northern, Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. **3**(1), 79-86. DOI: 10.4236/jbnb.2012.31010



- Nobel, S. P., Cavalier, J. & Andrade, J. L. (1992). Mucilage in cacti its apoplastic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relation. *Journal of Experimental Botany*. **43 (250)**, 641–642.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-130-SSA1-1995. Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/130ssa15.html>.
- Onakpoya, I. J., O'Sullivan, J. & Heneghan, C. J. (2015). The effect of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) on body weight and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*. **31(5)**, 640–646. DOI: 10.1016/j.nut.2014.11.015
- Ondarza, M. A. (2016). Cactus mucilages: nutritional, health benefits and clinical trials. *Journal of Medical and Biological Science Research*. **2(6)**, 87-103.
- Ospina, C. K. (2016). *Estudio de la interacción de hidrocoloides empleados en alimentos y su efecto en las propiedades reológicas y de textura sensorial e instrumental*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/56646/>
- Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., Arroyo-Peña, V. B., Sánchez, U. A. & Balois, M.R. (2012). Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Chemistry and Biodiversity*. **9(8)**, 1599–1610. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200047>
- Ramírez-Navas, J. S., Murcia, S. C. L. & Castro, C. V. (2014). Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. **12(1)**, 20-27.
- Ravindran, G. & Matia-Merino, L. (2009). Starch-fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) polysaccharide interactions in pure and soup systems. *Food Hydrocolloids*. **23(3)**, 1047–1053. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.010>
- Sepúlveda E., Sáenz, C., Aliaga, E. & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*. **68(4)**, 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>
- Sol, F. P. (2016). *Diversos recubrimientos de mucílago de nopal con aceites esenciales para el control de patógenos en papaya*. México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Solano, D. L., Alamilla B. L., Maciel, C. A., Dávila O. G. & Jiménez, M. C. 2018. Nopal (*Opuntia* spp.) mucilage: a review. *Transylvanian Review*. **XXVI (27)**, 7309-7317.
- Stintzing F. C. & Reinholt, C. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*. **49(2)**, 175-194. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071>
- Vargas, M. J. J., Vera, V. G. V., & Suppé, T. N. A. (2019). Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de *Opuntia ficus indica* en la región alta de Tacna. *Revista de la Sociedad Química de Perú*. **85(3)**, 305- 314.
- Vargas-Rodríguez, L., Arroyo, F. G., Herrera, M. C. H., Pérez, N. A., García, V. M. I. & Rodríguez, N. J. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*. **26(1)**, 8-11. DOI: 10.15174/au.2016.839
- Vázquez-Ramírez R., Olgún-Martínez, M., Kubli-Garfias, C. & Hernández-Muñoz, R. (2006). Reversing gastric mucosal alterations during ethanol-induced chronic gastritis in rats by oral administration of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *World Journal of Gastroenterology*. **12(27)**, 4318-4324. DOI: 10.3748/wjg.v12.i27.4318