



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**“EVALUACIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)
PARA SU USO COMO ESPESANTE EN ALIMENTOS”**

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

CLAUDIA REYES BUENDIA

Bajo la supervisión de:

Dr. José Joel Enrique Corrales García



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORDINA DE EXAMENES PROFESIONALES

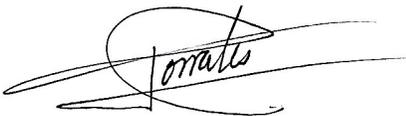


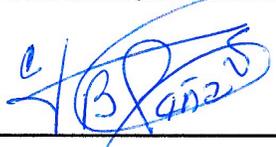
Chapingo, Estado de México, enero del 2018

**“EVALUACIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)
PARA SU USO COMO ESPESANTE EN ALIMENTOS”**

Tesis realizada por **CLAUDIA REYES BUENDIA**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR: 
_____ **DR. JOSÉ JOEL ENRIQUE CORRALES GARCÍA**

CO-DIRECTOR: 
_____ **DRA. CECILIA BEATRIZ PEÑA VALDIVIA**

ASESOR: 
_____ **DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES**

ASESOR: 
_____ **DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA**

CONTENIDO

CONTENIDO	II
ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
AGRADECIMIENTOS	XIV
DATOS BIOGRÁFICOS	XV
RESUMEN GENERAL	XVI
GENERAL ABSTRACT	XVII
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	18
2 REVISIÓN DE LITERATURA	21
2.1 GENERALIDADES DEL NOPAL	21
2.1.1 Origen e historia	21
2.1.2 Taxonomía.....	22
2.1.3 Descripción de la planta	23
2.1.4 Importancia económica.....	25
2.1.5 Variedades.....	27
2.1.6 Usos del nopal	28
2.1.7 Importancia de la fibra dietética del nopal	30
2.1.8 Características de mucílago de nopal	31
2.1.9 Métodos de extracción de mucílago de nopal	32
Método I	32
Método II	32
2.2 ADITIVOS ALIMENTARIOS.....	33
2.2.1 Uso de los aditivos alimentarios	33
2.2.2 Regulación legal y clasificación de aditivos alimentarios	34
2.2.3 Definición y características de aditivos alimentarios	37

2.2.4	Espesantes alimenticios	40
	Espesantes obtenidos de exudados vegetales	44
	Espesantes obtenidos de semillas vegetales.....	44
	Espesantes obtenidos de microorganismos.....	44
	Espesantes a base de algas marinas	45
	Espesantes gelificantes.....	46
2.3	REFERENCIAS	46
3	EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO DE CINCO VARIEDADES DE NOPAL (OPUNTIA SPP.) Y SU CARACTERIZACIÓN COMO ESPESANTE.....	48
3.1	INTRODUCCIÓN.....	50
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
3.2.1	Fase previa	51
3.2.2	Material vegetativo.....	52
	Características del cultivar de nopales de la variedad Milpa Alta	53
	Características del cultivar de nopales de la variedad Atlixco	54
	Características del cultivar de nopales de la variedad Toluca	55
	Características del cultivar de nopales de la variedad Tuna Blanca.....	56
	Características del cultivar de nopales de la variedad Tovarito	56
3.3	MÉTODO DE EXTRACCIÓN.....	57
3.3.1	Descripción del método de extracción seleccionado.....	58
3.4	VARIABLES MEDIDAS AL MUCÍLAGO DE NOPAL	60
3.4.1	Rendimiento (contenido de mucílago).....	61
3.4.2	Color	61
3.4.3	pH	61
3.4.4	Humedad	62
3.5	RESULTADOS	63
3.5.1	Contenido de mucílago de nopales de las cinco variedades evaluadas	63
	63	
3.5.2	Color de mucílagos de nopal de las cinco variedades estudiadas	63
3.5.3	pH	65

3.5.4	Humedad	67
3.6	CONCLUSIONES	68
3.7	REFERENCIAS	68
4	EFFECTO ESPESANTE Y ACEPTACIÓN SENSORIAL DE MUCÍLAGO DE NOPAL (OPUNTIA SPP.) EN CREMA DE ELOTE Y NÉCTAR DE MANGO. .70	
4.1	INTRODUCCIÓN.....	72
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
4.2.1	Definición de productos y formulación.....	73
4.2.2	Definición de tratamientos para crema de elote y néctar de mango .73	
4.2.3	Elaboración de productos	75
Néctar de mango.....		75
Crema de elote.....		76
4.2.4	Variables medidas en crema de elote y néctar de mango.....	76
Viscosidad		76
Color.....		77
pH.....		77
Sólidos solubles		78
4.2.5	Evaluación sensorial.....	78
4.2.6	Prueba de aceptabilidad global	78
4.2.7	Prueba JAR	79
4.3	RESULTADOS	79
4.3.1	Efecto en néctar de mango adicionado con mucílago de nopal de 5 variedades	79
4.3.2	Efecto en crema de elote adicionada con mucílago de nopal de cinco variedades	82
Determinación de tipo de fluido en crema de elote		87
4.3.3	Resultados de Evaluación sensorial.....	89
Aceptabilidad global y aceptabilidad por viscosidad		89
Análisis de Penalidad de medias para los tratamientos evaluados		91
4.4	CONCLUSIONES.....	94
4.5	REFERENCIAS	95

5 ANEXOS 97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de nopal (<i>Opuntia</i> spp.).....	22
Cuadro 2. Principales variedades cultivadas de nopal verdura en México.	27
Cuadro 3. Productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de las tunas y cladodios.	29
Cuadro 4. Industrias beneficiadas del aprovechamiento integral del nopal.	29
Cuadro 5. Clasificación de los aditivos según la Unión Europea.	35
Cuadro 6. Clasificación de aditivos según la Comisión Federal para la Protección de la Salud.	36
Cuadro 7. Tipos y usos de espesantes comerciales en México.	41
Cuadro 8. Variedades empleadas para la extracción de mucílago y lugares de colecta.	53
Cuadro 9. Tratamientos evaluados en la caracterización de mucílago de nopal.	61
Cuadro 10. Parámetros de color en los cinco mucílagos evaluados y almidón modificado.	65
Cuadro 11. Formulación utilizada para elaborar néctar de mango.	73
Cuadro 12. Formulación utilizada para elaborar crema de elote.	73
Cuadro 13. Composición porcentual de tratamientos en néctar de mango.	74
Cuadro 14. Composición porcentual en tratamientos de crema de elote.	74
Cuadro 15. Parámetros de color en los tratamientos evaluados en néctar de mango.	81
Cuadro 16. Efecto de mucílagos evaluados y almidón modificado a dos concentraciones (0.7 % y 1.0 %) en el cambio de viscosidad en crema de elote.	83
Cuadro 17. Parámetros de color en los tratamientos evaluados en crema de elote.	86

Cuadro 18. Comparación de medias en la prueba de aceptabilidad global.....	89
Cuadro 19. Comparación de medias de la prueba de aceptabilidad para viscosidad.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hombre recolectando tunas de nopal. Códice Florentino Libro XI.	21
Figura 2. Nopalera del campo experimental en el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.....	23
Figura 3. Nopalito de cultivo de la Variedad Milpa Alta, CDMX.....	24
Figura 4. Variedad de flores y frutos del nopal (Opuntia spp.).....	25
Figura 5. Principales estados productores de nopal en el año 2016 (SIAP, 2017).	26
Figura 6. Etapas de cocción y centrifugación del método de extracción de mucílago reportado por Peña y Sánchez (2004)	51
Figura 7. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Milpa Alta... ..	54
Figura 8. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Atlixco.	55
Figura 9. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Toluca.....	55
Figura 10. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Tuna Blanca.	56
Figura 11. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Tovarito....	57
Figura 12. Diagrama de bloques del método de extracción empleado para la obtención de mucílago de cinco variedades de nopal.	58
Figura 13. Pencas de nopal de la variedad Milpa Alta lavadas, seccionadas y congeladas para la extracción de mucílago.....	59
Figura 14. Molienda de pencas de nopal (variedad M. Alta) y filtración del "licuado" obtenido para separar el mucílago (baba) de la fibra.	59
Figura 15. Precipitación de mucílago en relación 1:2 (baba: etanol) y recuperación del mucílago en cajas Petri.	60
Figura 16. Secado convectivo de mucílago a 50 °C por 24 h, y molienda en un mortero de porcelana hasta la obtención de un "polvo fino".	60

Figura 17. Ensamble de trampa Bitwel y condensador para la medición de humedad de los 5 mucílagos estudiados.....	62
Figura 18. Contenido de mucílago (%) en nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).	63
Figura 19. Valores medios de pH en mucílagos de nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).	66
Figura 20. Valores medios de humedad en mucílagos de nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).	67
Figura 21. Néctares de mango adicionados con mucílagos de las cinco variedades evaluadas.	75
Figura 22. Cremas de elote adicionadas con mucílagos de las cinco variedades evaluadas.....	76
Figura 23. Medición de viscosidad en néctar de mango con viscosímetro Brookfield.	77
Figura 24. Valores de viscosidad (Pa*s) en néctar de mango adicionado son mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).	80
Figura 25. Datos pH en néctar de mango adicionado con mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).	80
Figura 26. Sólidos solubles en néctar de mango adicionado con mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).	81
Figura 27. Viscosidad (Pa*s) en crema de elote adicionada con cinco mucílagos de nopal a dos concentraciones.	82

Figura 28. Valores de pH en crema de elote adicionada con cinco mucílagos de nopal y almidón modificado. ^ZMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0008$).85

Figura 29. Curvas de viscosidad de "subida" y "bajada" a diferentes revoluciones por minuto en crema de elote adicionada con mucílago de nopal.88

Figura 30. Penalización de las medias de aceptación de la viscosidad para los tratamientos 2, 4, 6, 8, 10 y 12 en crema de elote adicionada con cinco mucílagos y almidón modificado a una concentración 1.0 %.92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Nomenclatura y Composición de cremas de elote evaluadas en prueba sensorial.....	97
Anexo 2. Hoja maestra para presentación de muestras	98
Anexo 3. Formato de respuesta de aceptabilidad global para cada tratamiento evaluado.....	100
Anexo 4. Formato de respuesta de aceptabilidad por viscosidad y escala JAR.	101
Anexo 5. Análisis de varianza de la variable respuesta Rendimiento en mucílago de nopal de un Diseño completamente al Azar (DCA)	101
Anexo 6. Análisis de varianza de la variable respuesta Luminosidad, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).	102
Anexo 7. Análisis de varianza de la variable respuesta ángulo de tono, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).	102
Anexo 8. Análisis de varianza de la variable respuesta Índice de saturación, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).	103
Anexo 9. Análisis de varianza de la variable respuesta pH, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).....	104
Anexo 10. Análisis de varianza de la variable respuesta humedad, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).	105
Anexo 11. Análisis de Varianza para la variable respuesta viscosidad en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5 (2 concentraciones x 5 espesantes). .	106
Anexo 12. Análisis de Varianza para la variable respuesta sólidos solubles en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.	106

Anexo 13. Análisis de Varianza para la variable respuesta pH en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.	107
Anexo 14. Análisis de Varianza para la variable respuesta luminosidad en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.	108
Anexo 15. Análisis de Varianza para la variable respuesta ángulo de tono en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.	109
Anexo 16. Análisis de Varianza para la variable respuesta índice de saturación en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.	110
Anexo 17. Análisis de Varianza para la variable respuesta Viscosidad en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.	110
Anexo 18. Análisis de Varianza para la variable respuesta pH en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.	111
Anexo 19. Análisis de Varianza para la variable respuesta luminosidad en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.	112
Anexo 20. Análisis de Varianza para la variable respuesta ángulo de tono en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.	113
Anexo 21. Análisis de Varianza para la variable respuesta índice de saturación en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.	113
Anexo 22. Análisis de Varianza y comparación de medias para la aceptabilidad global de un diseño en bloques completamente al azar (DBCA).	114
Anexo 23. Análisis de varianza para aceptabilidad por viscosidad de un diseño en bloques completamente al azar (DBCA).	115
Anexo 24. Gráficos de porcentaje para niveles JAR sin colapsar y colapsados	116
Anexo 25. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 4 considerando como límite de penalidad 20% y 50% de los consumidores.	119
Anexo 26. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 10 considerando como límite de penalidad 20 % y 50 %de los consumidores.	119
Anexo 27. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 12 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.	119

Anexo 28. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 6 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.....	120
Anexo 29. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 2 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.....	120
Anexo 30. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 8 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.....	121

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo que me brindó durante dos años y por considerarme dentro de su programa de becarios que me dio la oportunidad de desarrollar esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la formación académica y cultural necesaria para mi desarrollo como ser humano.

Al Dr. José Joel Enrique Corrales García por su apoyo, constancia, conocimientos impartidos y paciencia durante el desarrollo del proyecto de investigación.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por ser una impecable persona y profesionalista que me brindó su apoyo incondicional.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por su disponibilidad para resolver dudas y por todos los conocimientos enseñados, que sin duda serán un pilar en mi desarrollo profesional en el futuro.

A la Dra. Cecilia Beatriz Peña Valdivia por su valioso apoyo y asesorías brindadas.

A mis padres Lucio Reyes de la Vega y Teres Buendía Trujano por darme el regalo más preciado en la tierra: la vida.

A mis hermanas Nasstasia y Jimena por su valioso tiempo que me brindaron apoyándome en laboratorio.

A Benito por su cariño y ánimos de seguir adelante.

A los productores de nopal que me facilitaron el material biológico.

A los viejos abuelos, porque me inspiran y motivan a seguir adelante.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Claudia Reyes Buendia

Fecha de Nacimiento: 28 de Febrero de 1992

Lugar de Nacimiento: Texcoco Estado de México.

CURP: REBC920228MMCYNL04

Profesión: Estudiante-Investigador

Cédula profesional: 9607674

Desarrollo académico

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA SU USO COMO ESPESANTE EN ALIMENTOS

El mucílago es un polisacárido característico de los cladodios y frutos del nopal (*Opuntia spp.*) que puede ser extraído y utilizado como agente espesante por su poder viscosante además posee propiedades funcionales. Por tal motivo, se extrajo mucílago de pencas de nopal de tres a cuatro meses de edad de las variedades Atlixco, Milpa Alta, Toluca, Tovarito y Tuna Blanca recolectadas en diferentes localidades. Las variables que se midieron para caracterizar los mucílagos extraídos fueron: contenido (g de mucílago/ g de muestra), pH, humedad (%p/v) y color (L, Hue ° y C). La evaluación de los mucílagos incluyó efecto espesante, viscosidad (Pa*s), pH, color (L, Hue ° y C), sólidos solubles (°Brix) y aceptación sensorial en concentraciones 0.5 %, 1.0 % y 1.5 % en néctar de mango y 0.7 % y 1.0 % en crema de elote, en esta última se utilizó almidón modificado para comparación. Los nopales de las variedades Toluca y Milpa Alta presentaron el contenido mayor y menor de mucílago. Los mucílagos presentaron color y humedad favorables para usarse como espesantes, fueron ligeramente ácidos (pH 5.48-5.90). El mucílago de ninguna de las variedades tuvo efecto significativo como espesante en néctar de mango. En contraste, 1.0 % de mucílago en la variedad Atlixco en crema de elote generó el mayor incremento en la viscosidad (6.04 Pa*s) y 0.7 % y 1.0 % de las variedades Milpa Alta, Toluca, Tuna Blanca y Tovarito tuvieron el mismo efecto en la viscosidad. El efecto en pH y color de crema de elote de los mucílagos de las cinco variedades no fue significativo. Las cremas de elote adicionadas con mucílago, independientemente de la variedad, tuvo menor aceptación respecto a la adicionada con almidón modificado. Pero destacó la aceptación menor de la crema de elote con 1.0% de mucílago de la variedad Atlixco por su viscosidad alta.

Palabras Clave: Mucílago, espesante, variedad y nopal.

GENERAL ABSTRACT

EVALUATION OF NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) MUCILAGE FOR USE AS A FOOD THICKENER

Mucilage is a polysaccharide characteristic of nopal (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits that can be extracted and used as a thickening agent due to its viscosity and also has functional properties. For this reason, mucilage of prickly pear cactus from three to four months of age was extracted from the varieties Atlixco, Milpa Alta, Toluca, Tovarito and Tuna Blanca collected in different locations. The variables that were measured to characterize the extracted mucilages were: content (g of mucilage / g of sample), pH, moisture (% w / v) and color (L, Hue ° and C). The evaluation of the mucilages included thickener effect, viscosity (Pa * s), pH, color (L, Hue ° and C), soluble solids (°Brix) and sensorial acceptance in concentrations of 0.5 %, 1.0 % and 1.5 % in mango nectar and 0.7 % and 1.0 % in corn cream; in the latter modified starch was used for comparison. The nopales of the Toluca and Milpa Alta varieties presented the highest and lowest mucilage content. The mucilages had favorable color and moisture to be used as thickeners; they were slightly acidic (pH 5.48-5.90). The mucilage of none of the varieties had significant effect as a thickener in mango nectar. In contrast, 1.0 % of mucilage in the Atlixco variety in corn cream generated the greatest increase in viscosity (6.04 Pa * s) and 0.7 % and 1.0 % of the varieties Milpa Alta, Toluca, Tuna Blanca and Tovarito had the same effect in the viscosity. The effect on pH and color of corn cream of the mucilages of the five varieties was not significant. Corn creams added with mucilage, regardless of the variety, had lower acceptance compared to that added with modified starch. But it emphasized the minor acceptance of corn cream with 1.0% mucilage of the Atlixco variety due to its high viscosity.

Key words: Mucilage, thickener, variety and nopal.

1 Introducción General

En la última década, la población a nivel mundial aumentó en 762 mil millones de personas y con ella la demanda de alimentos. La modernidad, el ritmo de vida acelerado y los nuevos hábitos alimenticios son las causas probables de que la población exija alimentos seguros de fácil preparación, nutritivos y funcionales es decir; que ayuden a la prevención y regulación de enfermedades crónicas (Matos & Chambilla, 2015).

Bajo este contexto, el papel que juegan los aditivos alimentarios es imprescindible debido a que éstos ayudan a mantener las cualidades y características de los alimentos haciendo que sean seguros, nutritivos y apetecibles. En particular los espesantes comerciales extraídos de semillas y microorganismos (como la goma xantana, guar, algarrobo, entre otros) son empleados en productos lácteos, sopas, caldos, néctares y zumos, para impartir y mantener la textura y viscosidad deseada por el consumidor además, la mayoría de espesantes están relacionados con un efecto benéfico a la salud (Multon, 2000).

Por otro lado, en México se llama nopal a las plantas de la familia Cactaceae de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*. Este país es considerado uno de los centros de origen del nopal debido a la gran cantidad de especies que presenta. Desde el punto de vista económico, las especies de nopal en México son un recurso agrícola muy importante, el valor de la producción y las exportaciones ascienden a millones de dólares anuales. A pesar de que el principal consumo del nopal es en fresco, existen otros componentes, que pueden generar una nueva alternativa de explotación para los productores de nopal.

De acuerdo con Saénz, Corrales y Pérez (2002), uno de los componentes funcionales más valiosos y atractivos del nopal es el mucílago, éste es un polisacárido característico de los cladodios y frutos. Está compuesto de diversas proporciones de L-arabinosa (26.6 a 42.0 %), D-galactosa (21.0 a 40.1 %), L-ramnosa (7.0 a 13.1 %), D-xilosa (22.0 a 22.2 %) y ácido galacturónico (8.0 a 12.7%) (Saénz, Sepúlveda & Matsuhira, 2004).

Saénz et al. (2002) afirman que éste polisacárido absorbe grandes cantidades de agua, formando coloides viscosos o gelatinosos por lo que, tiene gran potencial como espesante alimenticio. Además, el mucílago forma parte importante de la fibra soluble relacionada con la reducción de colesterol, riesgo de cáncer de colon, estreñimiento crónico y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (Sepúlveda, Saénz, Aliaga & Aceituno, 2006).

Por su poder viscosante y propiedades funcionales, Saénz et al. (2002) sugieren que el mucílago puede ser extraído y utilizado para formular y enriquecer alimentos; y además formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas) para la industria alimentaria. Aunque para conseguir su legislación como aditivo, se requieren diversos estudios para determinar la ingesta diaria aceptable, toxicidad, tolerancia, estabilidad, entre otras pruebas.

El mucílago resulta ser muy interesante porque se puede extraer de nopalitos tiernos, de pencas maduras, o de pencas provenientes de la poda. Estos hidrocoloides podrían integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica. (Saénz et al. 2002). La posibilidad de la utilización integral del nopal es de especial atractivo e interés para el sector agroindustrial, ya que también se puede utilizar el mucílago que es desechado en las pequeñas industrias donde se elaboran diferentes productos a base de nopal. Toda industria busca obtener el máximo provecho de sus materias primas. Es una forma específica de aumentar la rentabilidad de la empresa y además se evita la eliminación de desechos.

Muchos autores (Cárdenas et al., 1997, Saénz et al., 2002, Goycoolea et al., 2004, Sepúlveda et al., 2006, Guevara & Ornelas, 2013) han estudiado el poder viscosante del mucílago encontrando resultados interesantes sin embargo, no existe un estudio que caracterice la aplicación de mucílago como espesante en un alimento.

Debido a los pocos estudios que existen sobre la funcionalidad de los mucílagos como aditivos y aprovechando la gran riqueza varietal de México, el objetivo de esta investigación fue extraer mucílago de cuatro variedades de nopal verdura (Milpa Alta, Atlixco, Toluca, Tovarito) y una variedad de nopal tunero (Tuna blanca) para aplicarlo a diferentes concentraciones en dos productos alimenticios: crema de elote y néctar de mango, con el propósito de caracterizar su comportamiento como espesante, esperando encontrar diferencias significativas entre las variedades estudiadas, debido a que, fueron colectadas en diferentes lugares de la República Mexicana.

La presente tesis contiene cuatro capítulos. El capítulo dos consta de una revisión general del nopal (*Opuntia spp.*) en donde se abordan temas como el manejo técnico, importancia económica, usos, características químicas y funcionales del mucílago así como un apartado de aditivos alimentarios, en particular de diferentes componentes naturales, como gomas, que son utilizados como espesantes alimenticios. En el capítulo tres, se presenta la metodología utilizada para la extracción de los cinco mucílagos de las variedades de nopal Milpa Alta, Atlixco, Toluca, Tovarito y Tuna Blanca así como su caracterización como agente espesante en términos de color (L, ° Hue y Chroma), humedad (%P/V), contenido (g de mucílago/g de muestra) y pH. En el capítulo cuatro se presentan los resultados del efecto espesante y sensorial de los cinco mucílagos extraídos y adicionados en crema de elote y néctar de mango

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del nopal

2.1.1 Origen e historia

El nopal es una planta que pertenece a la familia de las cactáceas, éstas son endémicas del continente americano, lo que significa que antes de que el hombre las distribuyera, no existían en Europa, África, Asia ni en Oceanía. (Flores y Corrales, 2003). La información recopilada a la fecha indica el conocimiento y uso del nopal por pobladores mexicanos (Figura 1) que datan de 7000 años atrás, donde se reporta el hallazgo de semillas fosilizadas, cáscara de tuna, al igual que de fibras de pencas de nopal halladas en diversas excavaciones realizadas en las ciudades de Tamaulipas y Tehuacán, Puebla. El interés del ser humano por los nopales data de cientos de años, ya que la información contenida en los antiguos relatos descritos por fray Bernardino de Sagahún, en su historia general de la Nueva España, hace mención de la gran variedad de nopales disponibles en esa época al igual que de los usos y la manera de consumo que se les daba (Guevara & Ornelas, 2013).



Figura 1. Hombre recolectando tunas de nopal. Códice Florentino Libro XI.

Se ha establecido que desde la época de la Conquista el nopal fue introducido a España desde México, a través de las ciudades de Sevilla y Cádiz, ya que estos eran los puntos terminales de los viajes realizados a nueva España. Posteriormente; el nopal se distribuyó por toda la región del Mediterráneo es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía llegando hasta Israel. Los árabes lo llevaron desde España a Marruecos, Sudáfrica y Túnez. En otros continentes se encuentra en Angola, Australia y la india, y existen especies tanto cultivadas como silvestres (Guevara & Ornelas, 2013).

2.1.2 Taxonomía

El nombre científico del nopal fue asignado por Tournefort en 1700, en relación con su semejanza a una planta con espinas que crecía en el poblado de Opus, en Grecia. La taxonomía del nopal se observa en el Cuadro 1. Los nopales pertenecen a la familia Cactaceae y son parte del género *Opuntia*. La identificación de las especies, variedades y adaptaciones se ve reflejada por su fenotipo, el cual presenta variabilidad como respuesta a condiciones ambientales: además existen casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y hay un gran número de híbridos interespecíficos (Guevara & Ornelas, 2013).

Cuadro 1. Taxonomía de nopal (*Opuntia spp.*)

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Dialipétalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Géneros	<i>Opuntia y Nopalea</i>

Fuente: Flores y Corrales 2003

De manera común e independiente de la clasificación taxonómica, se denomina “nopal” a la planta completa, “tuna” al fruto, “nopalito” al cladodio tierno y “penca” al cladodio adulto.

Se conocen aproximadamente 300 especies del género *Opuntia*. A pesar de esto; sólo 12 especies a lo máximo son utilizadas por el hombre con la finalidad de explotar la fruta, los nopalitos y la penca para consumo humano, las pencas como forraje y la cochinilla para la producción de colorante (Flores & Corrales, 2003).

El género *Opuntia* en México presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies. El género *Nopalea* en México presenta 10 especies, de las cuales probablemente sólo una (*N. cochenillífera*) se utiliza como nopal verdura. En suma de las 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea*, se utilizan para forraje 15 especies, por su fruta cinco y como verdura cuatro (tres de *Opuntia* y una de *Nopalea*) (Flores & Corrales, 2003).

2.1.3 Descripción de la planta

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3.5 a 5 m de altura como se observa en la Figura 2.

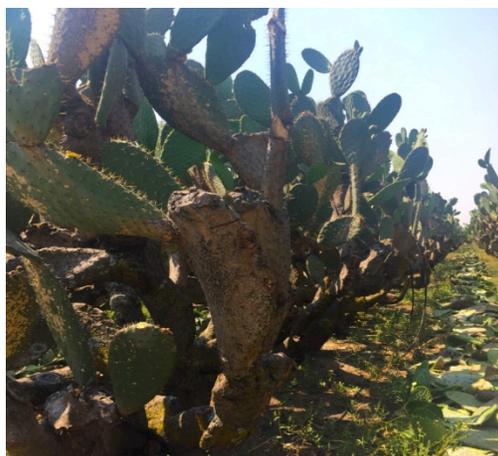


Figura 2. Nopalera del campo experimental en el Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Flores & Corrales, 2003).

Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alargada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura (Figura 3).

El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales. Cuando los tallos se lignifican con el tiempo, pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo (Saénz et al., 2006).



Figura 3. Nopalito de cultivo de la Variedad Milpa Alta, CDMX.

Las aréolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) en México comúnmente se llaman aguates- y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas. Cuando el hombre entra en contacto con la planta las espinas se pueden desprender y penetrar en la piel, constituyendo un serio

inconveniente tanto para la cosecha de los frutos como para el procesamiento y consumo de los mismos (Saénez et al., 2006).

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores (Figura 4). El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable. Saénez et al. (2006) describen en detalle los tipos de frutos; los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con aréolas y abundantes gloquidios y espinas, que a diferencia del cladodio, persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible.



Figura 4. Variedad de flores y frutos del nopal (*Opuntia spp.*)

2.1.4 Importancia económica

Flores y Corrales (2003) reportaron que en México, se utilizan tres sistemas para la producción de nopal verdura: nopaleras silvestres, nopaleras en huertos familiares y plantaciones comerciales. Las nopaleras silvestres ocupan una superficie de 3 millones de hectáreas con diferentes especies. Las nopaleras de huertos familiares son de gran relevancia en Zacatecas, San Luis Potosí,

Guanajuato y Aguascalientes; su producción es para autoconsumo y comercialización en mercados regionales (Pimienta et al., 1995 citado por Guevara y Ornelas, 2013).

Las plantaciones comerciales cuentan con dos sistemas: el sistema tradicional y el sistema de microtúneles o sistema intensivo; el primero tiene densidades de plantación de 15 a 40 mil plantas por ha, mientras que el segundo emplea densidades de plantación de 120 a 160 mil plantas por ha, permitiendo altos rendimientos durante los meses más fríos del año (Guevara & Ornelas, 2013).

En el 2016 la producción agrícola fue de 681,602,011.3 t . El cultivo de nopal ocupó el lugar 16° después de la fresa, naranja, tomate rojo, chile verde, limón, plátano, aguacate, mango, papa, cebolla, sandía, papaya, pepino, piña, y café (SIAP, 2017). Para el año 2016 el cultivo de nopal tuvo una superficie sembrada de 12, 613.00 ha con una superficie cosechada de 12, 220.00 ha. La producción fue de 810, 228 t con un valor de 2,059, 238.50 pesos. En la Figura 5 se observa que el estado de Morelos es el mayor productor de nopal (367, 826.0 ha), seguido de la CDMX (203, 727.80 ha), Estado de México (89, 967.66 ha), Jalisco (33,442.73ha), Puebla (25,524.14ha) y Baja California (23,462.62 ha) (SIAP, 2017).

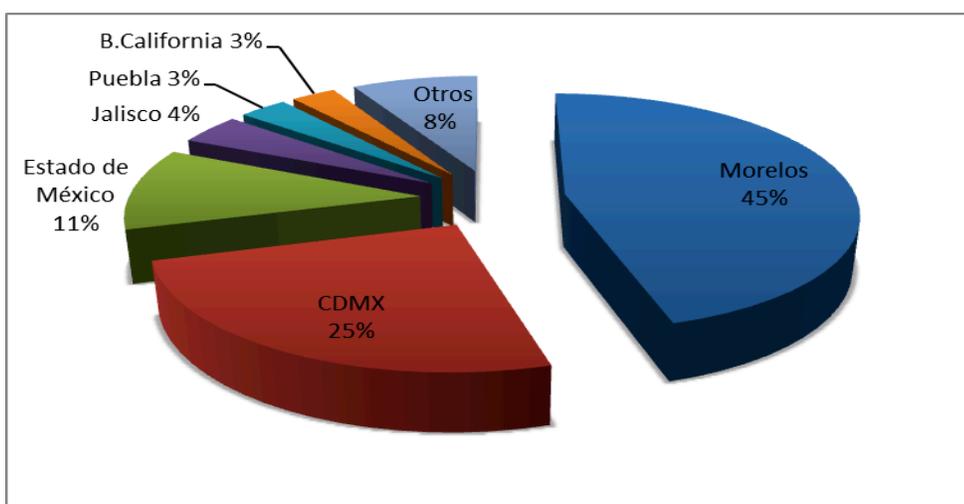


Figura 5. Principales estados productores de nopal en el año 2016 (SIAP, 2017).

2.1.5 Variedades

La variedad de nopalitos que se producen en nopaleras silvestres y en huertos familiares es notable. En el Cuadro 2 se muestran algunas características de las variedades utilizadas en plantaciones comerciales de México, lugares de cultivo y épocas de brotación.

Cuadro 2. Principales variedades cultivadas de nopal verdura en México.

Variedad	Características generales	Lugar de cultivo	Época de brotación
Milpa Alta	Es la variedad más importante del país.	Milpa Alta, Ciudad de México. Tlalnepantla Morelos	
Atlixco	Pencas y nopalitos grandes	Puebla Estado de México	Febrero-Junio Septiembre- Noviembre
Copena V-1	Se caracteriza por su carencia de espinas, por su succulencia, color verde intenso, buen sabor, baja acidez.	Hidalgo Estado de México Guanajuato Baja California	Febrero-Junio Septiembre- Noviembre
Copena F-1	Produce una gran cantidad de cladodios de color verde claro, sin espinas y poco mucilago.	Estado de México Tlaxcala Puebla Baja California	Febrero – Junio Septiembre – Noviembre
Polotitlán	Sus cladodios tienen color verde bandera, tiene aproximadamente 166.2 aréolas hundidas por cladodio. Sus espinas son blancas y presenta pocas gloquidas.	Estado de México	Febrero – Junio Septiembre – Noviembre
Tovarito	Sus cladodios tienen color verde bandera, tiene aproximadamente 152.4 aerolas hundidas por cladodio, en promedio una espina blanca por aerola, de 0.5 cm de longitud; y tiene pocas gloquidas.	Sonora	Febrero – Junio Septiembre – Noviembre
Texas	Presenta cladodios verde pálido, con	San Luis Potosí	Marzo – Mayo

Variedad	Características generales	Lugar de cultivo	Época de brotación
	aproximadamente 67.9 areolas hundidas por cladodio; no presenta espinas y tiene pocas gloquidas.		Septiembre – Octubre
Toluca	Sus cladodios son de color verde bandera con 152.4 areolas hundidas por cladodio, una a dos espinas blancas, de 0.3 a 0.6 cm de longitud por areola, presenta pocas gloquidas.	Estado de México	Marzo – Mayo Octubre – Noviembre
Blanco y Negro	-----	-----	Michoacán Guanajuato

Fuente: Flores y Corrales (2003)

2.1.6 Usos del nopal

Guevara y Ornelas (2013) reportaron que la principal forma de consumo de nopal en México es en fresco, se utiliza como ingrediente en una gran variedad de platillos entre los que destacan diversos guisos, ensaladas, cremas, sopas, salsas, bebidas y postres. Existen amplias posibilidades de utilización de las diversas partes de la planta del nopal, también existen diferentes especies de nopales que proporcionan frutos de diversos colores y cladodios con diversas utilidades dependiendo de su madurez (aptos tanto para el consumo humano y para alimentación animal).

La posibilidad alternativa de producción de cochinilla en las pencas y la potencial obtención de una variada gama de compuestos funcionales para la industria de suplementos alimenticios y de cosméticos es una ventaja de los nopales frente a otros vegetales, ya que se pueden destinar al sector agroindustrial o pueden entrar a formar parte de la dieta humana. (Saénz et al., 2006). Existen alimentos tradicionales preparados a base de tunas y nopalitos tal y como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de las tunas y cladodios.

Productos		Subproductos
Tunas	Cladodios	Tunas y Cladodios
Jugos y néctares	Jugos	Aceite de semillas
Mermeladas y jaleas	Encurtidos	y Mucílagos de los cladodios
Fruta y láminas deshidratadas	salmueras	Pigmentos de las cáscaras y frutos
Edulcorantes	Mermeladas y jaleas	Fibra dietaria de los cladodios
Alcoholes, vinos y vinagres	Harinas	Pasta forrajera de la cáscara y las semillas
Fruta enlatada	Alcohol	
	Salsas	
	Nopalitos	

Fuente: Corrales (2009)

Son muchos los sectores industriales que se pueden beneficiar con la producción de los nopales, desde la industria alimentaria y sus industrias asociadas, hasta la industria de la construcción, pasando por la farmacéutica y la de cosméticos (Saéñz et al., 2006). En el Cuadro 4 se muestran una serie de sectores industriales que pueden obtener y/o beneficiarse con productos obtenidos a partir del cultivo de nopal.

Cuadro 4. Industrias beneficiadas del aprovechamiento integral del nopal.

Industria	Productos
Agroindustria de alimentos y bebidas	Producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y analcohólicas de tuna y nopalitos.
Agroindustria de alimentos para animales	Suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas.
Industria farmacéutica	Protectores gástricos de extractos de mucílagos; cápsulas y tabletas de polvo de nopal.
Industria cosmética	Cremas, champúes, lociones de cladodios
Industria productora de aditivos naturales	Gomas de cladodios; colorantes de la fruta
Sector de la construcción	Compuestos ligantes de los cladodios
Sector energético	Producción de biogás a partir de las pencas
Sector turismo	Artesanías a base de cladodios lignificados
Industria textil	Uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla

Fuente: Elaboración propia con datos de Corrales (2009)

2.1.7 Importancia de la fibra dietética del nopal

Los nopalitos contribuyen con una alta proporción de agua a la dieta y son altamente cotizados por su contenido de fibra dietética el cual es comparable al de varias frutas y hortalizas, entre ellas la espinaca, la alcachofa, la acelga, la berenjena, el brócoli y el rábano. Entre las frutas, es similar al mango, al melón, al damasco y a la uva (Sáenz et al., 2006).

Los cladodios son una fuente importante de fibra, de calcio y de mucílagos, tres componentes que son necesarios para integrar una dieta saludable (Sáenz et al., 2006).

El mucílago se presenta tanto en los cladodios como en la cáscara y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda (1993) citados por Saézn et al. (2006) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0.5 % en la cáscara y 1.2 % en los cladodios. Estos hidrocoloides pueden ser interesantes porque se pueden extraer de las pencas maduras dándoles mayor utilidad o de pencas provenientes de la poda de plantas que se cultivan para producción de fruta. Estos hidrocoloides podrían integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y la farmacéutica.

La fibra dietética al igual que otros compuestos de los nopalitos y tunas, forman parte de los alimentos que se conocen como alimentos funcionales, los cuales se definen como “un alimento o bebida que proporciona un beneficio fisiológico, que fortalece la salud, ayuda a prevenir o tratar enfermedades, o mejora el rendimiento físico o mental por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología”.

La fibra dietética del nopal es uno de los componentes más estudiados desde el punto de vista de la nutrición y la relación que existe entre fibra y salud, por ejemplo para el control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad. La fibra también puede desempeñar un papel en la

reducción del riesgo de cáncer de colon y en la reducción de los síntomas de estreñimiento crónico, enfermedad diverticular y hemorroides (Sáenz., 1997).

Según su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en soluble e insoluble; la primera la conforman mucílagos, gomas, pectinas y hemicelulosas y la insoluble es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa. Estas fracciones de fibra tienen efectos fisiológicos distintos: es así como la fibra soluble se asocia con la reducción de los niveles de glucosa y de colesterol y la estabilización del vaciamiento gástrico. La fibra insoluble se relaciona con la capacidad de retención de agua (aumento del peso de las heces), el intercambio iónico, la absorción de ácidos biliares, minerales, vitaminas y su interacción con la flora microbiana (Sáenz., 1997).

2.1.8 Características de mucílago de nopal

El mucílago de nopal es un polisacárido complejo de naturaleza carbohidratada de alto peso molecular ($2.3 \times 10^4 - 3 \times 10^6$ g/mol), con una estructura altamente ramificada que contiene proporciones variables de L -arabinosa, D - galactosa, L -ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico, este último representa del 18 al 25 % de los residuos, dependiendo de si el mucílago proviene de la fruta o cladodios. La estructura molecular primaria es una cadena lineal que contiene ácido galacturónico, ramnosa y galactosa, a la que se unen residuos de xilosa y arabinosa en posiciones periféricas. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio). Hay otros minerales presentes, tales como Ca^{2+} y K^+ , hidratos de carbono y fibra dietética. El Ca^{2+} y K^+ son de gran interés con respecto en la nutrición humana (Sepúlveda et al., 2006)

La estructura del mucílago se propone como dos fracciones hidrosolubles distintivas. Una está representada por pectina con propiedades gelificantes con Ca^{2+} , y la otra es un mucílago sin propiedades de gelificación. Este complejo mucílago exhibe la propiedad osmótica de retener agua. Diversos estudios han

demostrado que el mucílago está presente en el aparato de Golgi, y la síntesis del mucílago tiene lugar probablemente en él. Estos polisacáridos se hinchan cuando están disueltos en agua, o en algunos casos, forman suspensiones coloidales muy viscosas (Sepúlveda et al., 2006).

2.1.9 Métodos de extracción de mucílago de nopal

Las metodologías de extracción de mucílago en los diferentes estudios realizados son muy variadas, desde metodologías muy simples hasta otras más complejas. Sol (2016) afirma que el método cambia según la fuente de mucílago (cladodio o fruto) y la parte concreta de la que se extraerá el hidrocoloide (piel, pulpa o semillas). En función de lo anterior y el grado de pureza que se desea obtener serán las modificaciones al método de extracción que se deban realizar. A continuación se describen los 2 métodos más comunes de extracción.

Método I

Este método fue propuesto por Peña y Sánchez (2004). Los cladodios son lavados, desespinaados y seccionados en cuadros de 2 cm x 2 cm aproximadamente, se mantienen durante 15 min a $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una proporción 1:2 cactácea : agua, respectivamente. El líquido se decanta y se centrifuga a 4500 g durante 10 min. El sobrenadante se recupera y se mezcla con etanol en una relación 1:1, la mezcla se deja reposar durante una noche en refrigeración. Después la mezcla se centrifuga y el residuo (mucílago) se recupera. El mucílago se dializa en una membrana para diálisis con MWCO (molecular weight cut-off) de 2000 Daltons con agua desionizada durante 72 h con renovación del agua cada 2 horas, el primer día, y cada 4 horas, los dos días siguientes. El contenido de cada membrana se congela ($-35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$) y se liofiliza.

Método II

Este método fue reportado por Sol (2016). Los cladodios lavados y desespinaados, se cortan en cuadros de 3cm x 3 cm y a cada kilogramo de nopal

se le adicionan 50 mL de agua para facilitar la molienda en una licuadora. El nopal molido se deposita en bolsas de polietileno de 25 x 35 cm, las cuales se congelan durante dos días. Las bolsas se descongelan realizándoles una perforación con diámetro de 2 cm en uno de sus extremos y se colocan en tinas de plástico para permitir la salida de la fibra y mucílago. Posteriormente, se filtra la fibra y mucílago con manta de cielo para eliminar impurezas. Se añade etanol al 96 % en relación 1:1 (v/v) y se deja separar el mucílago del alcohol por una hora. El mucílago se coloca en membrana de diálisis de aproximadamente 15 cm de largo (MWCO: Molecular Weight Cut-Off, =15,000 D) para realizar la purificación en botes de plástico de 3 L con agua desionizada por 72 h; con renovación de agua de 3 veces al día. Finalmente el mucílago se congela y liofiliza por 2 días.

2.2 Aditivos Alimentarios

2.2.1 Uso de los aditivos alimentarios

Según Ibáñez et al. (2003) se comenzaron a utilizar diferentes componentes, como: la cochinilla y el azafrán para hacer los alimentos más apetecibles o sal y vinagre para lograr mayor tiempo de conservación. Suárez et al. (2014) indicaron que el uso de los aditivos inició empíricamente ya que se utilizaban sin alguna regulación sanitaria o legal y el propósito principal de uso era ocultar los defectos de elaboración o las condiciones insalubres en la preparación de los alimentos. Con los avances experimentados de la química en el siglo XVIII y con las nuevas necesidades de la industria agroalimentaria del siglo XIX, la búsqueda de compuestos para añadir a los alimentos se hizo sistemática.

A finales del siglo XIX en el lenguaje de la ciencia de los alimentos se incluyó el término “aditivo”; ya que bajo esta denominación también se agrupaban otras sustancias o compuestos químicos, que al ser agregados durante la elaboración de los alimentos, ejercen efectos distintos en el procesamiento o resaltan alguna cualidad deseada grata al consumidor, ejemplo de ellos son los

colorantes, saborizantes, espesantes, coadyuvantes tecnológicos, intensificadores de sabor, conservadores, entre otros.

2.2.2 Regulación legal y clasificación de aditivos alimentarios

De acuerdo con Suárez et al. (2014) son varios los organismos que poseen competencia en la regulación de aditivos alimentarios. A nivel internacional existe la U.S. Food and Drug Administration (FDA) que junto al United States Department of Agriculture (USDA) supervisan y regulan el empleo de aditivos en los productos alimenticios que se venden en Estados Unidos de América además de que sirven como referente sobre el uso de aditivos que se utilizan en la elaboración de alimentos que se comercializan a nivel internacional. La FDA generó una lista de aditivos para alimentos tipo “GRAS” (Generally recognized as safe), que contiene alrededor de 700 productos. Esta lista ha cambiado desde el momento en que el gobierno de Estados Unidos comenzó a vigilar su seguridad por lo que aún es importante reunir información acerca de la seguridad de los aditivos alimentarios.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS), creó un conjunto de comités que evalúan diversos aspectos de los aditivos. Uno de ellos a nivel internacional es el Comité Internacional de Expertos en Aditivos Alimentarios (Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA) el cual determina la inocuidad de los compuestos químicos que se utilizan como aditivos con base en una serie de valoraciones toxicológicas en forma sistematizada que determina la utilización del compuesto como inofensivo al ser consumido por el ser humano.

En 1963 ambas organizaciones (FAO y OMS) establecieron el Codex Alimentarius o “Código alimentario” para elaborar normas alimentarias internacionales armonizadas, que protegen la salud de los consumidores y fomentan prácticas leales en el comercio de los alimentos.

La Unión Europea ha catalogado, a los aditivos con base en su función en el producto terminado y la sustancia específica utilizada, nombrada ya sea haciendo referencia a su Número E o al nombre. El sistema de números E se utiliza como una manera práctica y sencilla de etiquetar los aditivos autorizados en todos los idiomas de la Unión Europea. El hecho de que un aditivo tenga un número E asignado otorga la garantía de que este ha pasado los controles de seguridad y que ha sido aprobado para su uso. La clasificación general de los números E, según sus funciones se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de los aditivos según la Unión Europea.

Clasificación	Serie
Colorantes	E100 - E199
Conservantes	E200 – E299
Antioxidantes y reguladores de acidez	E300 – E399
Estabilizantes	E400 – E499
Reguladores de pH y agentes anti grumos	E500 – E599
Potenciadores del sabor	E600 – E699
Varios	E900 – E999

En México, la dependencia que realiza la regulación de los aditivos permitidos en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios es la Comisión Federal para la Protección de la Salud (COFEPRIS) a través del subcomité número 10 llamado “Aditivos y Contaminantes de los Alimentos” perteneciente al Comité Mexicano para la Atención del Codex Alimentarius. De igual manera en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) se determina el tipo de aditivo que puede incorporarse, así como la dosis máxima permitida en los alimentos o subproductos para consumo humano.

La legislación mexicana actual exige que cualquier persona o empresa que elabore alimentos reporte el contenido en la lista de ingredientes en la etiqueta del producto. La Legislación Mexicana a través de la COFEPRIS clasifica en 11 categorías (Cuadro 6) los aditivos reconocidos y permitidos en México así como los productos en los que se reconoce el uso del compuesto como aditivo.

Cuadro 6. Clasificación de aditivos según la Comisión Federal para la Protección de la Salud.

Clasificación de Aditivos
ANEXO I: Aditivos con diversas clases funcionales y con una IDA* establecida
ANEXO II: Aditivos con diversas clases funcionales que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF*
ANEXO III: Colorantes con una IDA* establecida
ANEXO IV: Colorantes que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF*
ANEXO V: Sustancias purificadas para masticar
ANEXO VI: Enzimas
ANEXO VII: Edulcorantes con una IDA* establecida
ANEXO VIII: Edulcorantes que pueden ser utilizados de acuerdo a las BPF*
ANEXO IX: Aditivos permitidos en fórmulas para lactantes, fórmulas de continuación y fórmulas para necesidades especiales de nutrición
ANEXO X: Coadyuvantes de elaboración
ANEXO XI: Saborizantes.

*IDA: Ingesta diaria admisible

*BPF: Buenas Prácticas de Fabricación

El que se establezca legalmente la posibilidad de utilizar sustancias como aditivos, no significa que su uso sea obligatorio, éstos podrán emplearse en los alimentos de producción nacional y solo si es necesaria su incorporación. Sin embargo, la filosofía actual en el campo de la industria alimentaria es el de incorporar lo menos posible cualquier sustancia, ya sea como aditivo o como coadyuvante, y se requiere tecnificar sus procesos que permitan una mejor manipulación y transformación de las materias primas, así como una óptima conservación del producto final (Suárez et al., 2014).

Hoy en día, se han incorporado nuevos compuestos como aditivos alimentarios, cuya finalidad es mejorar las características fisicoquímicas del producto, a través de coadyuvantes en los procesos tecnológicos, y sobre todo se ha buscado mejorar la palatabilidad de los alimentos industrializados que se ofrecen en el mercado. Luego entonces, la regulación de toda clase de aditivos es fundamental para que el consumidor tenga la seguridad que el producto que oferta la industria alimentaria cumpla con una normatividad en términos de inocuidad del alimento, ya que en nuestro país todavía algunas empresas por

falta de un desarrollo tecnológico y sobre todo de buenas prácticas de manufactura incorporan compuestos para corregir los defectos de fabricación y sobre todo para enmascarar la mala calidad sanitaria (Suárez et al., 2014).

2.2.3 Definición y características de aditivos alimentarios

El Codex alimentarius (1995) define a un aditivo alimentario como “cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los sensoriales) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales”.

En la literatura, la industria alimentaria considera como aditivo a todo compuesto o mezcla de sustancias que directa o indirectamente modifiquen las características físicas, químicas, sensoriales y los efectos en su mejoramiento, preservación o estabilización de un alimento. Asimismo, ha de demostrarse su necesidad, de tal modo que su uso suponga ventajas tecnológicas y beneficios para el consumidor (Suárez et al., 2014).

Algunos de los motivos por los que deberá establecerse la necesidad de incorporación de aditivos en alimentos procesados son:

- Conservar la calidad nutritiva de un alimento.
- Proporcionar alimentos con destino a un grupo de consumidores con necesidades dietéticas especiales.
- Aumentar la estabilidad fisicoquímica de un alimento o mejorar sus propiedades sensoriales.

- Favorecer los procesos de fabricación, transformación o almacenamiento de un alimento, siempre que no se enmascaren materias primas defectuosas o prácticas de fabricación inadecuadas.
- Su empleo se justifique por razones tecnológicas, sanitarias, nutricionales, etc.
- Cumplimiento de la legislación vigente en términos de pureza química, control sanitario, y que se haya demostrado bajo la normatividad nacional o internacional a través de pruebas toxicológicas su inocuidad en las condiciones de uso como aditivo en la incorporación de alimentos transformados.

De acuerdo con Suárez et al. (2014) la normatividad mexicana e internacional vigente prohíbe la adición de aditivos en los siguientes casos:

- Ocultar defectos de calidad.
- Encubrir alteraciones en la materia prima o en el producto terminado.
- Disimular materias primas no aptas para el consumo humano.
- Ocultar técnicas y procesos defectuosos de elaboración, manipulación, almacenamiento y transporte.
- Reemplazar ingredientes en los productos que induzcan a error o engaño sobre la verdadera composición de los alimentos.
- Alterar los resultados analíticos de los productos en que se agregan.
- Enmascarar la calidad sanitaria, química, de composición y/o sensorial del producto fabricado en forma dolosa para el consumidor.

También es importante resaltar y conocer los componentes que no son considerados como aditivos alimentarios. Según Suárez et al. (2014) son los siguientes:

- Monosacáridos, disacáridos u oligosacáridos utilizados por sus propiedades edulcorantes, ni los alimentos que los contengan.
- Alimentos, ya sea deshidratados o concentrados, incluidos los aromatizantes, incorporados durante la fabricación de alimentos compuestos por sus propiedades aromáticas, sápidas o nutritivas y con un efecto colorante secundario.
- Sustancias utilizadas en los materiales de recubrimiento o revestimiento que no formen parte de los alimentos y que no estén destinadas a ser consumidas con ellos.
- Productos que contengan pectina o derivados de pulpa de manzana deshidratada o pieles de cítricos o membrillos, o de una mezcla de ambos, por la acción de un ácido diluido seguida de una neutralización parcial con sales de sodio o potasio («pectina líquida»).
- Gomas base para chicle.
- Dextrina blanca o amarilla, el almidón tostado o dextrinado, el almidón modificado por tratamiento ácido o alcalino, el almidón blanqueado, el almidón modificado por medios físicos y el almidón tratado con enzimas amilolíticas.
- Cloruro de amonio.
- Plasma sanguíneo, gelatina comestible, hidrolizados de proteínas y sus sales, proteína láctea y gluten.
- Aminoácidos y sus sales, a excepción del ácido glutámico, la glicina, la cisteína y la cistina y sus sales sin función tecnológica.

- Caseinatos y la caseína.
- Inulina.

En general, el papel que corresponde a un aditivo es el de evitar que un alimento ya producido se estropeeé, o bien darle una presentación más agradable para que pueda tener una aceptación favorable por parte del consumidor. Es conveniente resaltar que en la elaboración de alimentos industrializados sólo se pueden emplear como aditivos químicos aquellas sustancias cuyo uso se ajustan a los requisitos marcados por la legislación vigente, que son compuestos sintéticos o de origen natural con una aplicación específica destinados para consumo humano. Es necesario que la normatividad en México tenga en el mercado de manufactura de alimentos un control y una regulación más estricta en la aplicación y uso de los aditivos en los productos alimenticios que se fabrican y ofertan a la población mexicana, ya que esto permite disminuir el número de casos reportados del mal uso de los mismos (Suárez et al., 2014).

2.2.4 Espesantes alimenticios

Según la COFEPRIS (2012) un agente espesante es una sustancia que incrementa la viscosidad de los productos. Schmidt (1990) reporta que los espesantes se diferencian de los emulsionantes por no poseer en sus moléculas grupos hidrofílicos y lipofílicos enlazados; actuando, en cambio, como hidrocoloides estabilizantes. En este contexto un espesante, como verdadero estabilizante, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Calidad higiénica.
- Sabor neutro y que no afecte el sabor propio del producto.
- Buen poder de dispersión y/o buena solubilidad.
- Estabilidad frente a influencias físicas, químicas y biológicas.
- Logro de textura, consistencia y viscosidad deseadas.
- Resistencia a shocks térmicos (cambios bruscos de temperatura) con

buena estabilidad frente a la congelación y descongelación.

- Tolerancia frente a electrolitos (sal).
- Resistencia a cambios de pH.

Ibáñez et al. (2003) reportan que existen diferentes espesantes comerciales que se obtienen en general de fuentes vegetales o de microorganismos, son sustancias químicamente bastante complejas, todas tienen en común cadenas muy largas formadas por la unión de muchas moléculas de azúcares más o menos modificadas. En el Cuadro 7 se muestran ejemplos de espesantes así como el uso en algunos alimentos según el Codex Alimentarius (1995).

Cuadro 7. Tipos y usos de espesantes comerciales en México.

Espesante	Características	Uso	Cantidad permitida Codex	Código Unión Europea
Alginato de propilenglicol	Derivado del alginato. Se sintetiza artificialmente por esterificación del óxido de propileno con ácido algínico parcialmente neutralizado	Sopas y caldos Crema batida Cerveza Dulces a base de leche	10, 000 mg/kg 5, 000 mg/kg 10 g/L 5, 000 mg/kg	E-405
Goma garrofín	Extraída de las semillas algarrobo. Compuesta de unidades de galactosa y manosa combinadas mediante enlaces glicosídicos.	Leches fermentadas Crema láctea pasteurizada	BPF*	E-410
Goma guar	Polisacárido de reserva nutricional de las semillas de Cyamopsis tetragonoloba.	Zumos Helados Salsas Crema Láctea Productos pesqueros	BPF*	E-412
Goma arábica	Polisacárido con cantidades variables de D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa y algunos	Crema láctea Productos líquidos a base de huevo Bebidas a base	BPF*	E-414

Espesante	Características	Uso	Cantidad permitida Codex	Código Unión Europea
Goma xantana	ácidos derivados como el ácido D-glucurónico o el 4-O-metil-D-ácido glucurónico. Polisacárido extracelular producido por la bacteria Xanthomonas campestris.	de cereales y granos Sopas y caldos Cremas lácteas Pastas y fideos frescos Salsas Aderezos	BPF*	E-415
Goma karaya	Se obtiene de los exudados de la corteza de los árboles del género Sterculia. Polisacárido parcialmente acetilado que consta de una cadena principal compuesta por unidades de D-galacturónico, L-rhamnosa y D-galactosa.	Salsas Aderezos Postres	BPF*	E-416
Goma tara	Polisacárido que se obtiene de la semilla de la planta Caesalpinia spinosa. Formado por monómeros de manosa y galactosa.	Helados Quesos Zumos Cremas lácteas		E-417
Goma gellana	Polisacárido obtenido de la fermentación aeróbica de la glucosa mediante la bacteria sphingomonas elodea. Compuesta por uniones de monómeros como la glucosa, ácido glucurónico y la ramnosa.	Leches vegetales Salsas Aderezos Helados	BPF*	E-418

Espesante	Características	Uso	Cantidad permitida Codex	Código Unión Europea
Pectina	Ésteres metílicos parciales del ácido poligalacturónico y sus sales de amonio, calcio, potasio y sodio.	Mermeladas Postres Dulces	BPF*	E-440
Carragenanos	Extraída de la alga Chondrus crispus. Formados por unidades de galactosa y/o de anhidrogalactosa, sulfatadas o no, unidas por enlaces alternos a(1-3) y b(1-4).	Cerveza Memelada Queso Leches vegetales	BPF*	E-407

Fuente: COFEPRIS, Codex Alimentarius y clasificación de Unión Europea.

BPF*: Buenas prácticas de fabricación. La cantidad de aditivo que se añade al alimento se limitará a la dosis mínima necesaria para obtener el efecto deseado

Como se observa en el Cuadro 7 la regulación de la cantidad de espesantes, en la mayoría de los productos, están sujetos a las buenas prácticas de fabricación, la información de las cantidades es limitada sin embargo, se considera que la mayoría de las gomas se agregan en cantidades mínimas gracias a su gran poder espesante. A veces se aprovecha la posible acción sinérgica entre varios espesantes, lo que permite disminuir su concentración y aumentar la viscosidad como sucede, por ejemplo, entre las gomas xantana, algarrobo y guar (Schmidt, 1990).

Con respecto a los alimentos donde se añaden los espesantes se observa una gran gama de productos. En particular destacaremos dos de ellos: sopas cremosas y néctares. Se ha reportado el uso de gomas xantana, guar y carboximetilcelulosa (CMC) en néctares, éstos son bebidas constituidas por el jugo y la pulpa de fruta, finamente divididas y tamizadas con la adición de agua potable, edulcorantes naturales, acidulantes y preservantes. Las gomas cumplen funciones esenciales en estos productos, aportan viscosidad al medio,

contribuyendo a evitar la sedimentación de la pulpa, mejoran la textura, el sabor y la apariencia (González, Castro, Rincón, Beltrán & Bríñez, 2011).

Por otro lado, las sopas cremosas o cremas son esenciales para uno de los segmentos de mercado más grandes dentro de la categoría de alimentos semi-sólidos, el uso de gomas en estos productos ayudan a mantener estables los ingredientes que las componen, mejoran la textura y cuerpo otorgando la apariencia deseada por el consumidor. Existen diversas presentaciones en el mercado para la comercialización de sopas tanto líquidas (tetrapack, enlatadas y “pouch”) como sólidas (en polvo envasadas en bolsas) (Sheldrake., 2003).

Espesantes obtenidos de exudados vegetales

La Goma arábica y Goma tragacanto son polisacáridos complejos que se obtienen al practicar incisiones en la corteza del vegetal: Acacia Senegal y *Astragalus gummifer*, respectivamente. Químicamente son polisacáridos de galacto-arabano con ácido glucurónico (goma arábica) y galacturónico (goma tragacanto). La goma arábica, por su fácil y rápida solubilidad en agua facilita la reconstitución de productos deshidratados y de concentrados de aromas (Schmidt., 1990).

Espesantes obtenidos de semillas vegetales

La goma garrofín se obtiene de las semillas de Algarrobo de la leguminosa *Ceratonia siliqua* que corresponde químicamente a un galactomanano (galactosa 20 % y manosa 80 %). La Goma Guar se obtiene por molienda del endosperma de las semillas de la leguminosa *Cyamopsis tetragonoloba* y está constituida principalmente de galactomanano (galactosa 40 % y manosa 60 %) (Schmidt., 1990).

Espesantes obtenidos de microorganismos

La goma Xantana proviene de la bacteria *Xanthomonas campestris*, cuyo cultivo de fermentación se genera a partir de un carbohidrato. La molécula consta de una cadena principal de D-glucopiranosilo con enlace beta 1-4, como en la

celulosa. A la cadena se anexan cadenas laterales de trisacárido compuestas por residuos de D-manopiranosilo y de ácido D-glucopiranosilurónico. Los residuos de manosilo con enlace a 1-2 tienen sustitutos 6-o-acetilo. Un promedio de aproximadamente la mitad de los grupos terminales del a-D-manosilo tienen sustitutos 4,6-o-(1-carboxietilideno). Se usa en forma de su sal de sodio, potasio o calcio y se caracteriza por su alto grado de viscosidad y su resistencia a cambios bruscos de temperatura y variaciones de pH (Schmidt., 1990).

Espesantes a base de algas marinas

En esta clasificación se encuentran los alginatos o sales del ácido algínico, son poliurónidos de ácidos D-manurónico y L-gulurónico. Proviene de las membranas celulares de algas pardas o feofíceas, sobre todo de los géneros *Laminaria* y *Macrocystis pyrifera*. Otro espesante considerado en este apartado es el agar, el cual es un polisacárido heterogéneo a base de D-Galactosa y Anhidro-L-Galactosa. Proviene de algas rojas o Rodofíceas, especialmente de especies *Gelidium* y *Gracilaria*. No actúa en productos lácteos. Por último los Carragenanos son obtenidos por extracción acuosa de otras algas Rodofíceas: *Chondrus crispus* y *Gigartina stellata*. Se trata de un polisacárido complejo, a base de D-Galactosa y Anhidro-D- Galactosa, asociadas a grupos de ésteres sulfatos. Existe en diversas formas estructurales, llamadas kappa, iota y lamda carragenina, semejantes al Furcelerano o Agar Danés. Por su buena capacidad complejante con proteínas se usa para aumentar el poder de suspensión en alimentos proteicos, como derivados cárnicos, lácteos y de cacao en concentraciones de sólo 0.25 g/kg. En general, los espesantes a base de algas marinas proporcionan una buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura y comunican una alta viscosidad, pero son sensibles a un pH muy ácido. Para evitar, por ejemplo, una posible precipitación de ácido algínico de sus sales de Na, K o Ca, se aplican también derivados no iónicos como el alginato de propilenglicol, el cual puede ser a la vez espesante y emulsionante al reunir grupos lipofílicos e hidrofílicos (Schmidt., 1990).

Espesantes gelificantes

Las pectinas, son polímeros de los ésteres metílicos del ácido D- galacturónico que existen como componentes del esqueleto intercelular, junto con la celulosa en muchos tejidos vegetales, como de los frutos cítricos y manzanas. Las pectinas altamente esterificadas (con más de 7 % de metoxilo) necesitan para su gelificación azúcar y acidez; las menos esterificadas precisan iones calcio, para este objeto. Otro espesante considerado dentro de esta descripción es la gelatina que se obtiene de proteína de los huesos, pobre en aminoácidos esenciales (Schmidt., 1990).

2.3 Referencias

- Codex Alimentarius. CODEX STAN 192-1995. 1995. Norma General para los aditivos alimentarios. Revisión 1997-2016. FAO/OMS, 1995.
- COFERPRIS, 2012. Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias.
- Corrales-García, J. 2009. Industrialization of Cactus Pads and Fruits en México: Challenges and Perspectivas, *Acta Horticulturae* 811:103-112. SCOPUS.
- Flores Valdez, Claudio.; Corrales García, Joel. 2003. Nopalitos y tunas: producción, comercialización, poscosecha e industrialización. México. Universidad Autónoma Chapingo. CIESTAAM-Programa Nopal.
- Guevara Arauza, J.C.; Ornelas Paz, J. 2013. Tecnología poscosecha y efectos biofuncionales del nopal y la tuna. México. Editorial Trillas.
- González, S., Castro, W., Rincón, F., Beltrán, O., & Bríñez, W. (2011). Functionality of Prosopis juliflora gum in the preparation of mango (*Mangifera indica* L .) nectar of low calorie content en la preparación de néctar de mango (*Mangifera indica* L .) de bajo contenido calórico, *34*(1), 39–47.
- Ibáñez, F.; Torre, P.; Irigoyen, A. 2003. Aditivos Alimentarios. Área de nutrición y Bromatología. Universidad Pública de Navarra. Monografía en línea. Disponible en:http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_03/Funcionales/aditivos.pdf
- Multon, JL. 2000. Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias (2ª ed.). Editorial Acribia, S.A.
- Matos C., A., & Chambilla M., E. (2015). Importancia de la Fibra Dietética , sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana. *Revista de Investigación En Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, *1*(1), 4–17.
- Peña-Valdivia.C.B. y Sánchez, U.B.A. (2004). Polisacáridos de nopalito y tuna (*Opuntia spp*). X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre

conocimiento y aprovechamiento del nopal y otras cactáceas de valor económico. Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. México.

Sáenz, Carmen.; Berger, Horst.; Corrales García, J.; Ljubica, Galletti.; García de Cortázar, Víctor.; Higuera, Inocencio.; Mondragón, Candelario.; Rodríguez, F. A.; Sepúlveda, Elena.; Varnero, M. T. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario Estadístico de la producción Agrícola. 2017.

Saénez, C. 1997. Cladodes: a Source of Dietary Fiber. J.PACD.

Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhira, B. (2004). Opuntia spp. mucilage's: A functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275–290. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X)

Sepúlveda, E., & Saénez, C. Aliaga, E. Aceituno, C. (2006). Extraction and characterization of mucilage in Opuntia spp. *International Food Research Journal*, 18(1), 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>

Sol Flores, P. 2016. Diversos recubrimientos de mucílago de nopal con aceites esenciales para el control de patógenos en papaya. Universidad Autónoma Chapingo.

Suarez Diéguez, T.; González Escalante, E.Y.; Reséndiz Martínez, Y.; Sánchez Martínez, D.S. 2014. La importancia de los aditivos alimentarios en los alimentos industrializados. *Revista Educación y Salud*. Vol.2(4). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icsa/n4/e5.html>

Schmidt Hebbel, H. 1990. Aditivos alimentarios y la reglamentación de los alimentos. Fundación Chile.

Sheldrake, P. (2003). *Texture in food. Semi-solid foods. Controlling textures in soups, sauces and dressings.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

3 EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO DE CINCO VARIEDADES DE NOPAL (*Opuntia spp.*) Y SU CARACTERIZACIÓN COMO ESPESANTE.

El mucílago puede ser extraído de los cladodios y frutos del nopal éste cultivo se favorecería con la extracción de hidrocoloides de las pencas para utilizarse como agentes espesantes en las industria alimentaria. En este estudio se aprovechó la riqueza varietal de nopal en México y el mucílago de pencas de tres a cuatro meses de edad, de cuatro variedades de nopal verdura (Atlixco, Milpa Alta, Toluca y Tovarito) y una de nopal tunero (Tuna Blanca) recolectadas en diferentes localidades se caracterizó como espesante. Las variables que se midieron para caracterizar el mucílago fueron: contenido (g de mucílago/ g de muestra), pH, humedad (% p/v) y color (L, °Hue y C). El contenido de mucílago fue estadísticamente diferente entre las variedades. En los cinco casos el mucílago mostró características aceptables de color y humedad para usarse como espesante, el pH fue ligeramente ácido respecto al almidón modificado, por lo que su efecto en alimentos aún es objeto de estudio.

Palabras clave: mucílago, variedad y espesante.

EXTRACTION OF NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) MUCILAGE FROM FIVE VARIETIES AND ITS CHARACTERIZATION AS THICKENER.

Mucilage can be extracted from the cladodes and fruits of the nopal this crop would be favored with the extraction of hydrocolloids from the nopal pads to be used as thickening agents in the food industry. In this study, the varietal richness of prickly pear in Mexico and the mucilage of three to four month old prickly pears, four varieties of nopal verdura (Atlixco, Milpa Alta, Toluca and Tovarito) and one of nopal noodles (Tuna Blanca) were used. collected in different locations was characterized as thickener. The variables that were measured to characterize the mucilage were: content (g of mucilage / g of sample), pH, moisture (% w / v) and color (L, °Hue and C). The mucilage content was statistically different between the varieties. In all five cases the mucilage showed acceptable color and moisture characteristics to be used as a thickener, the pH was slightly acidic with respect to the modified starch, so its effect on food is still under study.

Key words: mucilage, variety and thickener.

3.1 Introducción

La producción de mucílagos es una característica del género *Opuntia*. El mucílago es una mezcla compleja de polisacáridos, que se encuentran en las células vesiculares de los parénquimas (McGarvie y Parolis, 1981; Goycoolea y Cárdenas, 2004; Matsuhira et al., 2006) tiene una estructura altamente ramificada con la propiedad de embeber gran cantidad de agua, disolviéndose y dispersándose en ella para formar coloides viscosos o gelatinosos.

El mucílago de *Opuntia ficus indica* está compuesto de arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y ácido galacturónico. Hay otros minerales presentes, como Ca^{2+} y el K^+ , carbohidratos y fibra dietética. El Ca^{2+} y el K^+ son de gran interés con respecto a la nutrición humana (Trachtenberg & Mayer, 1981).

Goycoolea y Cárdenas (2004) reportaron que la estructura del mucílago se propone como dos fracciones hidrosolubles distintivas. La primera formada por pectina con propiedades gelificantes y Ca^{2+} , y la segunda compuesta por mucílago sin propiedades gelificantes. Majdoub et al. (2001) informaron que en *Opuntia ficus indica*, la fracción de polisacáridos solubles en agua con propiedades espesantes representa menos del 10 %.

Los métodos de extracción y caracterización de mucílagos de varias especies se ha documentado (Nobel et al., 1992; Cárdenas & Goycoolea, 1997; Medina et al., 2000; Sepúlveda et al., 2006; Peña et al., 2012). La mayoría de los métodos utiliza etanol para la precipitar de mucílago, pero el alcohol isopropílico y éter de petróleo también se han usado. En la mayoría de los casos el rendimiento de extracción de mucílago es bajo.

El mucílago puede ser extraído de los cladodios y frutos (pulpa y cáscara) del nopal, según Pimienta (1990) el contenido de mucílago en los cladodios varía con la edad, en cladodios viejos (pencas) el contenido es mayor que en cladodios jóvenes (nopalitos). El cultivo de nopal se favorecería por un uso eficiente de las pencas provenientes de la poda para la extracción de mucílago,

que podría usarse como espesante en las industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Sepúlveda et al., 2006)

El objetivo de este estudio, fue estudiar las características como agente espesante del mucílago extraído de pencas (tres a cuatro meses de edad) de cuatro variedades de nopal verdura (Atlixco, Milpa Alta, Toluca y Tovarito) y una de nopal tunero (Tuna Blanca) recolectadas en diferentes localidades. La hipótesis planteada es que los mucílagos extraídos presenten diferencias en la caracterización de las variables evaluadas: contenido (g de mucílago/ g de muestra), pH, humedad (% p/v) y color.

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Fase previa

El mucílago se extrajo con los métodos descritos en el numeral 2.1.9 de nopales tiernos de la variedad “Milpa Alta” adquiridos en el mercado regional de Texcoco.

El primer método ensayado fue el reportado por Peña y Sánchez (2004) en este caso el mucílago se extrajo con la siguiente serie de procesos secuenciales: cocción, centrifugaciones, precipitación (etanol), purificación y liofilización (Figura 6); sin embargo, es un método largo y costoso además, para procesar grandes cantidades de muestra de nopal se requieren equipos, como centrífuga y liofilizadora con amplia capacidad.



Figura 6. Etapas de cocción y centrifugación del método de extracción de mucílago reportado por Peña y Sánchez (2004)

El segundo método ensayado fue el de Sol (2016), en el que el mucílago se extrajo con la siguiente serie de procesos secuenciales: molienda, congelación, filtración, precipitación con etanol, purificación y liofilización.

Después de varias pruebas preliminares el método de Sol (2016) con ciertas modificaciones se seleccionó para extraer el mucílago de las cinco variedades de estudio. La elección se debió principalmente porque el tiempo de extracción es corto, los costos (al eliminar la liofilización) son bajos y el comportamiento sensorial del mucílago en la prueba cero, con mucílago de nopalitas tiernos de la variedad Milpa Alta en crema de elote, no se afectó.

Esta fase fue relevante porque las gomas que se utilizan comercialmente como espesantes son relativamente baratas, por esto la identificación y selección de un método de extracción económico y breve para obtener mucílago como espesante en alimentos es necesario.

3.2.2 Material vegetativo

Las variedades de nopal que se cultivan para la producción de nopal (verdura) que se evaluaron fueron Milpa Alta, Atlixco, Toluca y Tovarito; además se evaluó la variedad tunera Tuna Blanca. Las variedades de nopal verdura se seleccionaron de acuerdo a su importancia comercial y al contenido de mucílago reportado por Peña et al. (2012). La variedad Tuna blanca se analizó con el objetivo de caracterizar el comportamiento de mucílago como espesante de una variedad tunera.

Las cinco variedades evaluadas fueron recolectadas en lugares de Ciudad de México y del Estado de México (Cuadro 8). La recolecta de las cinco variedades se realizó en febrero y marzo del 2017. La unidad experimental de cada variedad fue de 6000 g de pencas de tres a cuatro meses de edad, se realizó una sola colecta con tres repeticiones, considerando cada planta de nopal como repetición.

Cuadro 8. Variedades empleadas para la extracción de mucílago y lugares de colecta.

Variedad	Lugar de Recolección
Milpa Alta	San Agustín del Alto, Villa de Milpa Alta, Ciudad de México
Atlixco “Criollo San Bernardino”	San Andrés Cholula Puebla
Toluca	Xonacatlán, Toluca
Tuna Blanca	Colegio de Postgraduados
Tovarito	Nopalera Experimental Chapingo

La cosecha se hizo con un cuchillo filoso y aséptico, con el que se cortó la base de las pencas. El aprovechamiento fue después del medio día lo que sugiere una baja acidez, dado que el nopal presenta el metabolismo CAM. Según Saénz et al. (2002) no importa la hora de corte de los nopales, sino más bien el momento en que se usen.

Es muy probable que las pencas colectadas hayan conservado su acidez y características a la hora de la colecta porque, al llegar al laboratorio fueron congeladas de acuerdo al método de extracción empleado.

Considerando que las condiciones de plantación, tipo de terreno, ubicación geográfica, riego, prácticas culturales y control de maleza no son las mismas; las diferencias encontradas en los mucílagos (como espesantes) no serán atribuidas al efecto de la variedad, debido a que los factores climáticos pueden influir en gran medida como lo reporta Nobel (1992). Por tal motivo solo se caracterizó el uso del mucílago como espesante de las variedades recolectada en el lugar y fecha indicados.

Características del cultivar de nopales de la variedad Milpa Alta

Los nopales de la variedad “Milpa Alta” fueron recolectados en la localidad “San Agustín el Alto” localizada en el municipio Villa de Milpa Alta, Ciudad de México, ubicada a 19°11'32” latitud norte y 99°01'23” latitud oeste a una altura de 2700

msnm; donde el clima es templado con lluvias en verano con una precipitación pluvial promedio de 701.4 mm.

El cultivo (Figura 7) tiene una superficie sembrada de 2 ha, el trazado de la plantación es en hileras con una distancia entre ellas de 1 m. Por la naturaleza del terreno donde se ubica el cultivo éste tiene cierta inclinación, no es plano. El riego que utiliza el productor es temporal, aplican anualmente abono a base de estiércol de caballo, aserrín y corteza del árbol de encino. Las prácticas de limpieza son manuales para retirar la maleza.



Figura 7. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Milpa Alta.

Características del cultivar de nopales de la variedad Atlixco

Los nopales de la variedad Atlixco conocida por su nombre local como “Criollo San Bernardino” fueron colectados en la empresa Agronopal de Sureste S.A de C.V ubicada en la localidad San Bernardino, Tlaxcancingo en el municipio de San Andrés Cholula Puebla a una altura de 2122 msnm con latitud norte 19°03’ y latitud oeste 98°18’. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano.

El cultivo (Figura 8) tiene una superficie sembrada de 7 ha. El trazado de la plantación es en hileras de 1 m de distancia en terreno plano. Utilizan fertilizante urea anualmente y herbicida para el control de maleza. El riego es temporal.



Figura 8. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Atlixco.

Características del cultivar de nopales de la variedad Toluca

Los nopales de la variedad Toluca fueron colectados en el municipio de Xonacatlán, Estado de México ubicado en las coordenadas 19°24' latitud norte y 99°32' latitud oeste dentro de la región Lerma a una altura de 2579 msnm donde la pluviosidad promedio es de 1075 milímetros. Con clima templado subhúmedo.

El cultivo (Figura 9) tiene una superficie sembrada de 1.5 ha. El trazado de la plantación es en hileras con una distancia entre ellas de 1.5 m sobre terreno inclinado. El productor aplica abono de estiércol de borrego.



Figura 9. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Toluca.

Características del cultivar de nopales de la variedad Tuna Blanca

Los nopales de la variedad tuna blanca fueron colectados en la parcela experimental del área de Bótanica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo ubicado a 19.52° latitud norte y 98.88° latitud oeste a una altura de 2,250 msnm. El clima es templado semi-seco, con una temperatura y precipitación media anual de 15.9 °C y 686 mm respectivamente.

El cultivo (Figura 10) tiene una superficie sembrada de aproximadamente 1 ha. El trazado de la plantación es en hileras con una distancia entre ellas de 2.5m sobre terreno plano.



Figura 10. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Tuna Blanca.

Características del cultivar de nopales de la variedad Tovarito

Los nopales de la variedad Tovarito fueron colectados en el campo experimental “La nopalera” Dr. Facundo Barrientos Pérez, de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en las coordenadas 19° 29’ de latitud norte y 98° 53’ de longitud oeste, a una altura de 2250 msnm, con clima predominante templado, con verano fresco, con una temperatura media anual de 15°C, precipitación pluvial de 636.5 mm anuales.

Esta variedad (Figura 11) se encontraba en un terreno de aproximadamente 2 ha y tenía únicamente una sola hilera de plantación. Los encargados de la

nopalera utilizan anualmente abono de estiércol y riego en época de sequía de 100 mm de agua por mes.



Figura 11. Cultivar donde se colectaron los nopales de la variedad Tovarito.

3.3 Método de extracción

El método empleado para la extracción de mucílago fue el reportado por Sol (2016), con modificaciones.

En general los cambios a dicho método consistieron en eliminar las etapas de purificación y liofilización reemplazando ésta última por un secado convectivo en el que se obtuvo un mucílago “crudo”, es decir sin purificar. En la Figura 12, se observa la secuencia de operaciones que se llevaron a cabo para la extracción de mucílago.

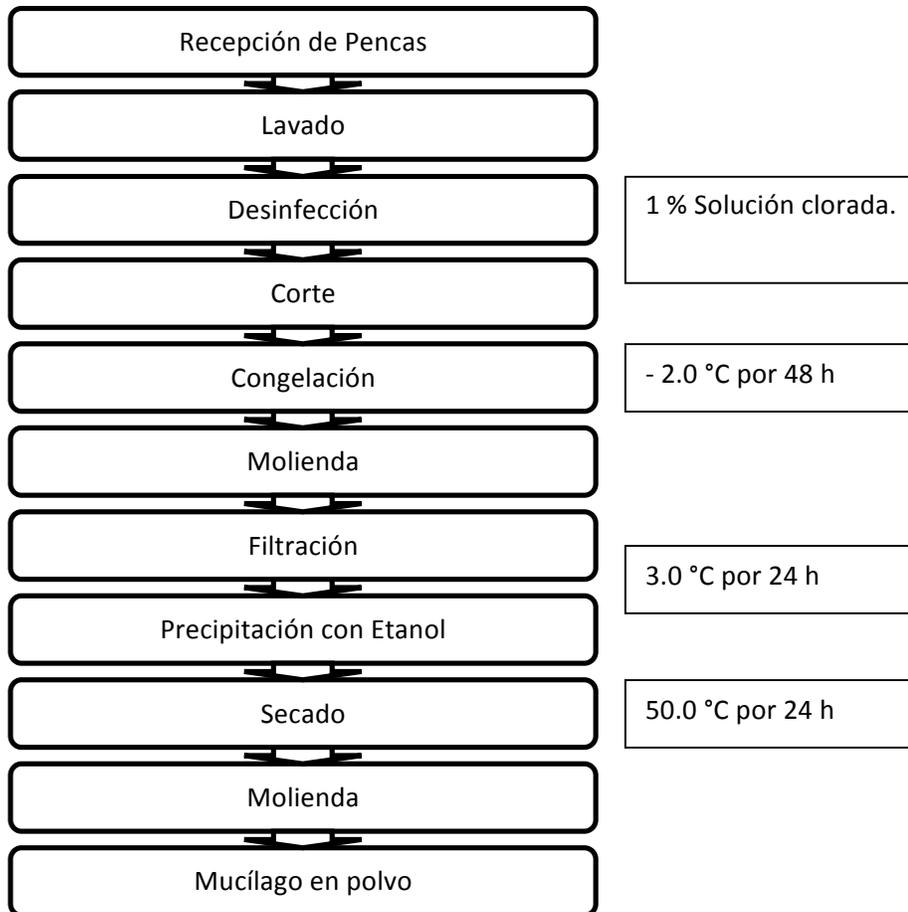


Figura 12. Diagrama de bloques del método de extracción empleado para la obtención de mucílago de cinco variedades de nopal.

3.3.1 Descripción del método de extracción seleccionado

Las pencas de nopal se lavaron con un cepillo de cerdas de plástico y agua del glifo para eliminar tierra e impurezas, después se desinfectaron sumergiéndolas durante 5 min en una tina con solución clorada al 1 %. La pencas lavadas y desinfectadas se seccionaron en rectángulos de aproximadamente 8 x 3 cm para colocarlas en bolsas de polietileno (Figura 13), mismas que se sometieron a congelación a -18.0 °C durante 48 h en un congelador horizontal “Torrey®”.



Figura 13. Pencas de nopal de la variedad Milpa Alta lavadas, seccionadas y congeladas para la extracción de mucílago.

Con un cúter se retiró la epidermis (con extremo cuidado de retirar una capa muy delgada) a los rectángulos de pencas congeladas para facilitar su molienda. La molienda se hizo empleando un extractor “Nutribulet®” hasta la completa trituración de las pencas, después el “licuado” obtenido se filtró en un embudo con manta de cielo durante 24 h a 3 °C tal y como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Molienda de pencas de nopal (variedad M. Alta) y filtración del “licuado” obtenido para separar el mucílago (baba) de la fibra.

El “líquido o baba” obtenido de la filtración se mezcló con etanol al 96 % en relación 1:2 (“baba”: etanol) durante 24 h a 3 °C en recipientes de plástico de 5 L. El mucílago obtenido de la precipitación se recuperó con ayuda de una

espátula y se colocó en cajas petri esterilizadas como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Precipitación de mucílago en relación 1:2 (baba: etanol) y recuperación del mucílago en cajas Petri.

El secado del mucílago se realizó en una estufa de aire forzado marca “Binder” durante 24 h a 50 C. El mucílago seco se trituró en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino como se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Secado convectivo de mucílago a 50 °C por 24 h, y molienda en un mortero de porcelana hasta la obtención de un "polvo fino".

3.4 Variables medidas al mucílago de nopal

Después de extraer el mucílago, se midió rendimiento, color, pH y humedad. Las mismas variables se midieron también en almidón comercial modificado marca Maicena®. Esto para comparar el efecto espesante del mucílago con el

almidón. El estudio se desarrolló con el Diseño completamente al azar con seis tratamientos (Cuadro 9) y los resultados se analizaron con la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha < 0.05$).

Cuadro 9. Tratamientos evaluados en la caracterización de mucílago de nopal.

Tratamiento	Definición
1	Mucílago obtenido de la Var. Tovarito
2	Mucílago obtenido de la Var. Milpa Alta
3	Mucílago obtenido de la Var. Atlixco
4	Mucílago obtenido de la Var. Toluca
5	Mucílago obtenido de la Var. Tuna Blanca
6	Almidón Modificado

3.4.1 Rendimiento (contenido de mucílago)

El rendimiento (%) de mucílago deshidratado se calculó con la relación:
 Rendimiento = (peso inicial de pencas / peso final de mucílago en polvo) *100.

3.4.2 Color

Para medir el color de los mucílagos se empleó un colorímetro Hunter Lab modelo MiniScan XE plus (Hunter associates Laboratory inc. Virginia, EUA). Se calibró de acuerdo a su instructivo. Después se colocó cada muestra en un recipiente especial de vidrio sobre el ocular del colorímetro, se tapó con un cilindro negro para evitar la refracción de luz y se tomó la medición de los valores “L”, “a” y “b”. Se empleó la metodología empleada por McGuire (1992), en la que el ángulo de tono se reportó en grados ($^{\circ}$) y se calculó con $\tan^{-1}(b/a)$ y el índice de saturación con $\sqrt{a^2 + b^2}$.

3.4.3 pH

Las muestras de mucílago se mezclaron con agua destilada (50 mL por cada 10g de muestra) hasta formar una pasta uniforme a temperatura ambiente. Se utilizó un potenciómetro digital modelo HI 98140 (Hanna Instruments Inc.,

Rhode Island, EUA) el cual se calibró con soluciones reguladoras de pH4, pH7 y pH10. Se tomó una porción de muestra, en un vaso de precipitado, en la que se colocó el electrodo y la medida se tomó directamente de la escala del potenciómetro.

3.4.4 Humedad

La humedad de los mucílagos se determinó de acuerdo al método 30.005 de la AOAC (1980). Se pesaron 7 g de cada mucílago para colocarlos en un “matraz bola” de 250 mL, en el que también se agregó 150 mL de tolueno y perlitas de vidrio para facilitar la ebullición a 180 °C por 7 h.

Se montó el equipo como se muestra en la Figura 17, se colocó tolueno en la trampa de vidrio y se mantuvo un flujo constante de agua fría del glifo en el condensador.



Figura 17. Ensamble de trampa Bitwel y condensador para la medición de humedad de los 5 mucílagos estudiados.

3.5 Resultados

3.5.1 Contenido de mucílago de nopales de las cinco variedades evaluadas

El contenido de mucílago fue diferente entre variedades (Figura 18). Tres grupos estadísticos se identificaron; uno lo integró la variedad Toluca, con la cantidad mayor de mucílago, el segundo grupo lo formaron las variedades Tovarito y Tuna Blanca, con contenidos estadísticamente iguales. Las variedades Milpa Alta y Atlixco presentaron los contenidos menores de mucílago sin diferencia estadística entre ellas. El rendimiento de mucílago seco reportado por Cárdenas y Goycoolea (1997) fue 0.07 % en cladodios frescos. Srivastava y Pande (1974) obtuvieron de los cladodios de *Opuntia* spp. un rendimiento de 0.5 % respecto al peso fresco. El contenido de mucílago de las cinco variedades fue relativamente superior a lo reportado por esos autores. Los resultados del presente estudio coincidieron con los de Peña et al. (2012), que señalaron a las variedades Toluca y Tovarito como las de mayor rendimiento; aunque, las proporciones y los métodos de extracción fueron diferentes.

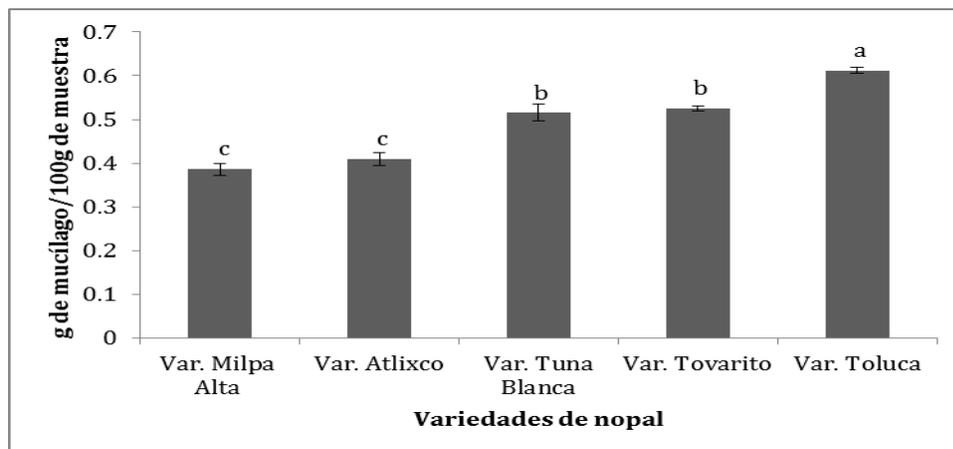


Figura 18. Contenido de mucílago (%) en nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca. ^ZMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

Según Nobel et al. (1992) el contenido de mucílago en los cactus varía con la especie y está influenciado por el riego y la temperatura. El contenido de

mucílago aumenta durante la aclimatación a temperaturas bajas y en condiciones de sequía. Por lo que, los resultados de las cinco variedades es atribuible parcialmente a la influencia de las condiciones climáticas de cada cultivo.

Goldstein y Nobel (1991) reportaron que la planta de nopal modifica la producción de mucílago en dependencia de la precipitación en su área de crecimiento. Por lo que, el contenido mayor de mucílago en los nopales de la variedad Toluca es opuesto al esperado por efecto de la precipitación. El promedio anual (1075 mm) de la localidad Xonacatlán, donde fue colectada esta variedad es mayor a la de las localidades donde se recolectaron los demás variedades.

El método de extracción empleado rinde mucílagos no purificados; por lo que, el mucílago puede contener otros compontes que podrían influir en su carácter de espesante. Al respecto, Majdoub et al. (2001) obtuvieron, con éter de petróleo, mucílago no purificado de pencas de nopal (*Opuntia* spp.). Esos autores afirman que dicho mucílago tiene uso potencial como emulsionante o espesante, por la presencia de proteínas en el material no purificado.

3.5.2 Color de mucílagos de nopal de las cinco variedades estudiadas

Luminosidad, tonalidad y cromaticidad de los mucílagos fueron significativamente diferentes entre las cinco variedades, salvo algunas excepciones (Cuadro 10).

La luminosidad formó cuatro grupos estadísticos; uno lo formó el mucílago de la variedad Toluca, con el valor mayor y le siguió el almidón modificado. El tercer grupo lo formaron los mucílagos de las variedades Tovarito y Tuna Blanca. El cuarto grupo lo formaron los mucílagos de las variedades Milpa Alta y Atlixco, con los valores menores de luminosidad.

Cuadro 10. Parámetros de color en los cinco mucílagos evaluados y almidón modificado.

Tratamiento	Luminosidad	Ángulo de tono	Saturación
Mucílago Var. Tovarito	56.38 ^c ^z	84.53 ^c	4.65 ^c
Mucílago Var. M. Alta	54.31 ^d	78.79 ^e	5.59 ^b
Mucílago Var. Atlixco	53.65 ^d	82.18 ^d	5.77 ^b
Mucílago Var. Toluca	90.17 ^a	92.5 ^b	7.52 ^a
Mucílago Var. T. Blanca	56.20 ^c	83.95 ^c	4.65 ^c
Almidón modificado	59.93 ^b	88.94 ^a	4.33 ^c

^z Medias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes ($p \leq 0.05$).

El mucílago de las variedades Milpa Alta, Atlixco, Tuna blanca y Tovarito y el almidón modificado presentaron cromaticidad en el espectro amarillo-rojo. Únicamente el mucílago de la variedad Toluca tuvo una cromaticidad en el espectro amarillo-verde.

El almidón modificado tuvo el valor mayor de ángulo de tono, le siguió el mucílago de la variedad Toluca. El ángulo de tono del mucílago de las variedades Tovarito fue similar al de Tuna Blanca y ambos fueron mayores al mucílago de la variedad Atlixco. Todos presentaron ángulo de tono cercano a 90°. Esto indica que su color tendió a ser amarillito. La excepción a esta tendencia fue el mucílago de la variedad Milpa Alta que tuvo un ángulo de tono bajo, cercano al color anaranjado.

Sepúlveda et al. (2006) evaluaron métodos de extracción de mucílago de pencas de nopal (*Opuntia* spp.) de dos a tres años de edad, temperatura y tiempo variable. Ellos reportaron el efecto de esos factores en color, humedad, proteínas y cenizas de los mucílagos obtenidos. La cromaticidad del mucílago la

determinaron en el espectro amarillo-verde, con luminosidad cercana a 90 y ángulo de tono entre 90 ° y 100 °. Los resultados del mucílago de la variedad Toluca del presente estudio son similares a los de Sepúlveda et al. (2006).

En general el color de los mucílago de las variedades evaluadas, presentaron parámetros se calificaron como aceptables, ya que fueron similares al almidón modificado; la excepción fue el mucílago de la variedad Toluca, que mostró algunas diferencias. Esto resultados indican que el mucílago de la mayoría de las variedad de *Opuntia* podrían aplicarse en a productos alimenticios con colores del rojo, amarillo, verde y anaranjado. Este es el caso de sopas cremosas de elote, chícharo y zanahoria u otras. Productos de color blanco, como los lácteos, si podrían alterarse por el mucílago. Por lo que este efecto tendrá que analizarse.

3.5.3 pH

El pH formó cuatro grupos estadísticos. El primero lo conformó el almidón modificado con el pH mayor. Los mucílago de las variedades Milpa Alta, Atlixco y Toluca fueron estadísticamente iguales. El mucílago de la variedad Tuna Blanca formó el tercer grupo junto con el de las variedades Atlixco y Toluca. El pH menor correspondió al mucílago de las variedades Tovarito y Tuna Blanca que formaron el cuarto grupo (Figura 19).

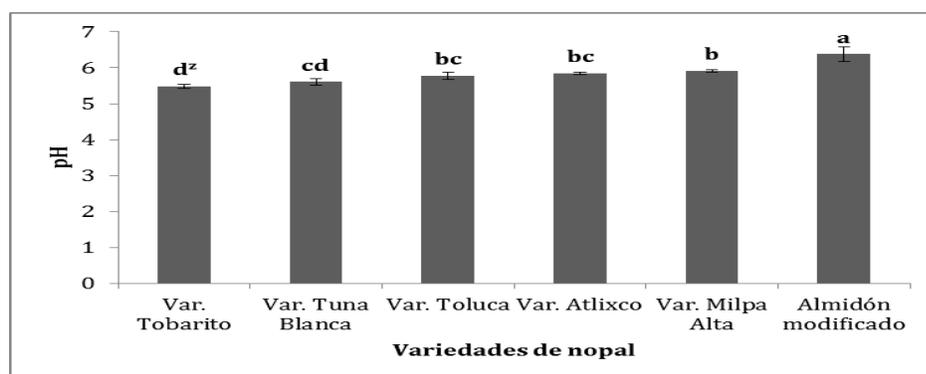


Figura 19. Valores medios de pH en mucílago de nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca.^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

El pH del mucílago de las cinco variedades mostró que son ligeramente ácidos comparados con el almidón modificado. García et al. (1993) reportó que el pH de la goma Xantana es neutro. Además, la mayoría de los espesantes que se utilizan en alimentos muestran pH 7. Esta característica es relevante porque puede afectar el comportamiento del mucílago como aditivo.

3.5.4 Humedad

La humedad de los mucílagos no presentó diferencias estadísticamente significativas (Figura 20).

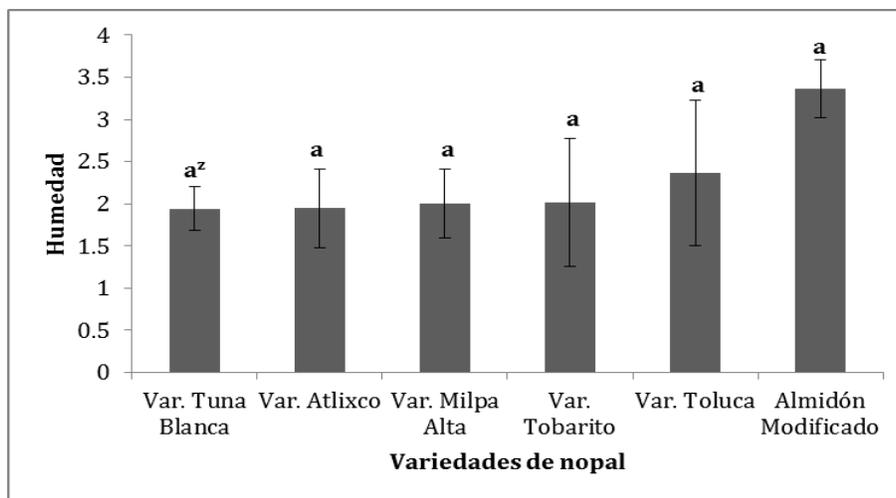


Figura 20. Valores medios de humedad en mucílagos de nopales de las variedades M. Alta, Atlixco, T. Blanca, Tovarito y Toluca.^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

Estos resultados difirieron de los reportados por Rodríguez, Arroyo, Herrera, Pérez, García y Rodríguez (2016). Estos autores determinaron humedad de 9.8%. Sepúlveda et al. (2006) reportaron humedad de 4.5 a 5.9 %. Las diferencias son atribuidas a las condiciones de secado y los métodos utilizados. Al respecto, Rodríguez et al. (2016) secaron el mucílago a 70 °C por 4 h y Sepúlveda et al. (2006) secaron a 40 °C por 16 h. El secado convectivo, a 50 °C por 24 h, empleado en el presente estudio fue óptimo y los mucílagos presentaron una humedad estadísticamente igual al almidón modificado.

3.6 Conclusiones

El contenido de mucílago en los nopales de las cinco variedades estudiadas fue diferente. Los nopales de las variedades M. Alta y Toluca tuvieron el menor y mayor contenido de mucílago. El rendimiento de mucílago encontrado en los nopales fue influenciado por las condiciones climáticas de los lugares de colecta de cada variedad. En las variables color y humedad los mucílagos de las variedades Milpa Alta, Atlixco, Tuna blanca, Toluca y Tovarito presentaron valores similares al almidón modificado, lo que indica características favorables de los mucílagos, en dichas variables, para su uso como espesantes. Sin embargo, los mucílagos de nopal presentaron valores de pH ligeramente ácidos con respecto al almidón modificado, esta característica no es favorable para los mucílagos como agentes espesantes, sin embargo su efecto en alimentos aún es objeto de estudio.

3.7 Referencias

- AOAC (1980) Official Methods of Analysis. 14th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Cárdenas, A., Goycoolea, F., 1997. Reología en solución del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*). Memorias VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, México, pp. 171–172.
- Goldstein, G., Nobel, P., 1991. Changes in osmotic pressure and mucilage during low-temperature acclimation of *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiology* 97, 954–961.
- García, G.M.; Quintero, R.; López, M.A. 1993. *Biología Alimentaria*. México. LIMUSA.
- Goycoolea, F., Cárdenas, A., 2004. Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 5, 17–29.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *Hort Science* 27 (12), 1254–1255.
- McGarvie, D., Parolis, H., 1981. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research* 88, 305–314.
- Matsuhira, B., Lillo, L., Saénz, C., Urzúa, C., Zárate, O., 2006. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Polymer* 63, 263–267.
- Majdoub, H., Roudesli, S., Picton, L., Le Cerf, D., Muller, G., Grisel, M., 2001. Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus indica* physico-chemical

- study in dilute and semi-dilute solutions. *Carbohydrate Polymers* 46, 69–79.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417–424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)
- 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.
- Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., Arroyo-Peña, V. B., Sánchez Urdaneta, A. B., & Balois Morales, 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>
- Pimienta, E., 1990. El Nopal tunero. 1^a ed. Universidad de Guadalajara, Jalisco, Mexico, 246pp.
- Peña-Valdivia, C.B. y Sánchez, U.B.A. (2004). Polisacáridos de nopalito y tuna (*Opuntia* spp). X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal y otras cactáceas de valor económico. Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. México.
- Rodríguez-Vargas, L., Arroyo Figueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., García Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8-11. doi: 10.15174/ au.2016.839
- Sol Flores, P. 2016. Diversos recubrimientos de mucílago de nopal con aceites esenciales para el control de patógenos en papaya. Universidad Autónoma Chapingo.
- Sáenz Hernández, C.; Corrales García, J.; Aquino Pérez, G. Nopalitos, mucilage. Fiber, and cochineal. 2002. *Cactaci biology and uses*. Pp. 211-234.
- Sepúlveda, E., & Saézn, C. Aliaga, E. Aceituno, C. (2006). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *International Food Research Journal*, 18(1), 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>
- Srivastava, B.K., Pande, C.S., 1974. Arabinogalactan from pods of *Opuntia dillenii*. *Planta Medica* 25, 92–97.
- Trachtenberg, S.H., Mayer, A., 1981. Calcium oxalate crystals in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: development and relation to mucilage cells. A Stereological analysis. *Protoplasma* 109, 271–283.

4 EFECTO ESPESANTE Y ACEPTACIÓN SENSORIAL DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) EN CREMA DE ELOTE Y NÉCTAR DE MANGO.

El mucílago de nopal (*Opuntia spp.*) es un hidrocoloide que retiene grandes cantidades de agua, por ésta característica podría usarse como agente espesante en la industria de alimentos. Por tal motivo, se caracterizó el efecto espesante y la aceptación sensorial de mucílagos de las variedades Milpa Alta, Atlixco, Toluca, Tuna Blanca y Tovarito en concentraciones de 0.5 %, 1.0 % y 1.5 % en néctar de mango y a 0.7 % y 1.0 % en crema de elote, en ésta última se evaluó además almidón modificado como testigo. En néctar de mango, los mucilagos de las cinco variedades no tuvieron un efecto significativo como agente espesante. En crema de elote el efecto fue significativo. La viscosidad en la crema de elote no se modificó por el mucílago de las variedades Milpa Alta, Toluca, Tuna blanca y Tovarito, en contraste 1.0 % del mucílago de la variedad Atlixco incremento de viscosidad (6.04 Pa*s). El efecto del mucílago de las cinco variedades en pH y color de crema de elote no fue significativo. En la evaluación sensorial la crema con almidón modificado al 1.0% fue la más aceptada. La crema de elote con el mucílago y el almidón modificado al 1.0 % tuvo la misma aceptación en el carácter viscosidad, la excepción fue la crema con mucílago de la variedad Atlixco que mostró alta viscosidad y fue la menos aceptada.

Palabras clave: mucílago, variedad, viscosidad y aceptación.

Tesis de Maestría en Ciencias. Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Claudia Reyes Buendía

Director de Tesis: Dr. José Joel Enrique Corrales García

THICKENING EFFECT AND SENSORY ACCEPTANCE OF NOPAL (*OPUNTIA SPP.*) MUCILAGE IN CORN CREAM AND MANGO NECTAR.

Nopal (*Opuntia spp.*) mucilage is a hydrocolloid that retains large amounts of water, because this characteristic could be used as a thickening agent in the food industry. For this reason, the thickener effect and the sensory acceptance of mucilage of the varieties Milpa Alta, Atlixco, Toluca, Tuna Blanca and Tovarito in concentrations of 0.5%, 1.0% and 1.5% in mango nectar and 0.7% and 1.0% were characterized. In corn cream, in the latter, modified starch was also evaluated as a control. In mango nectar, the mucilages of the five varieties did not have a significant effect as a thickening agent. In corn cream the effect was significant. The viscosity in the corn cream was not modified by the mucilage of the varieties Milpa Alta, Toluca, Tuna blanca and Tovarito, in contrast 1.0% of the mucilage of the Atlixco variety increased viscosity (6.04 Pa * s). The effect of the mucilage of the five varieties on pH and color of corn cream was not significant. In the sensory evaluation, the cream with modified starch at 1.0% was the most accepted. The cream of corn with the mucilage and the starch modified to 1.0% had the same acceptance in the character viscosity, the exception was the cream with mucilage of the Atlixco variety that showed high viscosity and was the least accepted.

Keywords: mucilage, variety, viscosity and acceptance.

4.1 Introducción

Uno de los parámetros más utilizados para evaluar la calidad de los alimentos es la textura que se asocia con atributos físicos como la apariencia visual, sensación en la boca y viscosidad. La textura se controla principalmente por los ingredientes adicionados y los procesos utilizados en la elaboración de productos. En este sentido, los hidrocoloides (polímeros de cadena larga solubles en agua) son los aditivos texturales más utilizados en la industria de alimentos por sus propiedades en sistemas acuosos (Rodríguez, Sandoval, & Ayala, 2003).

Como consecuencia de la creciente demanda de alimentos saludables con alto contenido de fibra y bajo contenido en grasa, los hidrocoloides están teniendo aplicaciones cada vez mayores en productos alimenticios para mejorar su textura y calidad (Sheldrake., 2003).

El mucílago de nopal (*Opuntia spp.*) es un hidrocoloide que contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D- xilosa así como también ácido galacturónico. Forma redes moleculares capaces de retener grandes cantidades de agua por lo que tiene una considerable aplicación como agente espesante en la industria de alimentos (Sepúlveda et al. 2006). Sin embargo, su uso como aditivo ha sido parcialmente estudiado. Garti (1999) así como Garti y Leser (2001) estudiaron la capacidad emulsionante de mucílago de *Opuntia ficus indica* y descubrieron que éste estabiliza emulsiones de aceite y agua. Por otro lado, Espinosa (2002) estudió la adición de dispersiones de mucílago de nopal (0.5% y 0.8%) a espumas de huevo y encontró mayor estabilidad en las espumas (menos sinéresis y mayor volumen) incluso después de 48 h.

Debido a la poca información que se tiene sobre el tema, se caracterizó el efecto espesante y aceptación sensorial de cuatro mucílagos de variedades de nopal verdura (Milpa Alta, Atlixco, Toluca y Tovarito) y una variedad de nopal

tunero (Tuna blanca) en néctar de mango y en crema de elote. Se trabajó con tres concentraciones (0.5 %, 1.0 % y 1.5 %) en néctar de mango. En crema de elote se usaron dos concentraciones de mucílago (0.7 % y 1.0 %) y de almidón modificado (0.7 % y 1.0 %) éste último con la finalidad de comparar el efecto del mucílago con el aditivo de mayor disponibilidad y bajo precio en el mercado.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Definición de productos y formulación

Los espesantes son usados en una gran gama de productos. En esta investigación se eligió el mucílago de nopal como espesante de crema de elote y néctar de mango. Las formulaciones difirieron entre los productos (Cuadros 11 y 12).

Cuadro 11. Formulación utilizada para elaborar néctar de mango.

Ingredientes	Cantidad (% p/p, g/100g)
Pulpa de mango	35
Agua	60.5
Azúcar	4
Ácido cítrico	0.2
Espesante	(0, 0.5, 1.0 y 1.5)

Cuadro 12. Formulación utilizada para elaborar crema de elote.

Ingredientes	Cantidad (%p/p, g/100g)
Granos de Elote	30
Agua	35
Leche	29.3
Mantequilla	2.5
Cebolla	1.5
Sazonador	0.7
Espesante	(0, 0.7 y 1)

4.2.2 Definición de tratamientos para crema de elote y néctar de mango

Para el néctar de mango se evaluaron 16 tratamientos y un testigo con tres repeticiones (Cuadro 13). Cada tratamiento incluyó el mucílago de una de las

variedades, con una de tres concentraciones. Para cada tratamiento se elaboraron 500 g de néctar de mango.

Cuadro 13. Composición porcentual de tratamientos en néctar de mango.

Espesante (Variedades de mucílago)	Concentración		
	0.10%	0.20%	0.30%
Tovarito	T1	T2	T3
Milpa Alta	T4	T5	T6
Atlixco	T7	T8	T9
Toluca	T10	T11	T12
Tuna Blanca	T13	T14	T15
Testigo	Sin espesante		

Para crema de elote se evaluaron 12 tratamientos y un testigo, con tres respectivas repeticiones (Cuadro 14). Cada tratamiento se formuló combinando el mucílago de cada variedad y un almidón modificado con dos concentraciones. Según la NOM- 130-SSA1-1995 la concentración de algunos espesantes (guar, xantana, pectina, almidones) para sopas debe ser 0.5 % a 1.0 %. En el estudio se evaluaron 0.7 % y 1.0 %. Para cada tratamiento se elaboraron 250 g de crema.

Cuadro 14. Composición porcentual en tratamientos de crema de elote.

Espesante (Variedades de mucílago)	Concentración	
	0.7%	1.0%
Tovarito	T1	T2
Milpa Alta	T3	T4
Atlixco	T5	T6
Toluca	T7	T8
Tuna Blanca	T9	T10
Almidón Modificado	T11	T12
Testigo	Sin espesante	

4.2.3 Elaboración de productos

Néctar de mango

El néctar se preparó con pulpa de mango Ataulfo con sólidos solubles promedio de 22 °Brix. La pulpa fue adquirida en la empresa Benefrut, en la Central de Abastos, delegación Iztapalapa, Ciudad de México. A simple vista la pulpa parecía homogénea. Además, el complemento fue agua embotellada, azúcar y ácido cítrico.

Para elaborar el néctar también se utilizaron: báscula, extractor (marca Nutribulet®), parrilla eléctrica con nivel tres de calor, parilla eléctrica con agitador, olla de acero inoxidable, cuchara y frascos de vidrio esterilizados. En recipientes plásticos se pesaron los ingredientes para obtener 500 g de néctar de mango. Para todos los tratamientos (excepto el testigo) el mucílago se resuspendió en el agua correspondiente a cada tratamiento, en una parrilla eléctrica con agitación constante a 1100 rpm.

La pulpa de mango se homogenizó en el extractor con el agua que contenía el mucílago, por 2 min. La mezcla se vertió en el recipiente caliente colocado en la parrilla eléctrica, a la mezcla se le agregó el azúcar y el ácido cítrico hasta completar su disolución, el néctar se dejó a 80 °C por 3 min y se envasó en frascos de vidrio (Figura 21).



Figura 21. Néctares de mango adicionados con mucílago de las cinco variedades evaluadas.

Crema de elote

La materia prima para elaborar la crema de elote fue: granos de elote enlatados (La Costeña®), agua embotellada (Ciel®), leche evaporada enlatada (Nestlé®), mantequilla (Iberia®), cebolla, sazónador (Knorr®), mucílago de nopal o de almidón modificado (Maicena®) como espesante o ninguno de ellos. El equipo utilizado incluyó: cronómetro, parrilla eléctrica con nivel tres de calor, parrilla eléctrica con agitador, extractor (Nutribulet®), recipiente u olla de acero inoxidable, cuchara y vasos de plástico de 250 mL con tapa.

Los espesantes se resuspendieron con el agua correspondiente a cada tratamiento, en parrilla eléctrica con agitador a 1100 rpm por 20 min, hasta homogeneidad. Para cada repetición, los granos de elote, agua (con mucílago disuelto), sazónador y cebolla se mantuvieron en el extractor (Nutribulet®), por 2.5 min. Sobre la mantequilla fundida en el recipiente caliente en la parrilla eléctrica se vertió la mezcla y se agregó leche evaporada, se disolvió y se mantuvo a 70 °C por 1.25 min. La sopa tipo crema se envasó en los recipientes plásticos con tapa (Figura 22)



Figura 22. Cremas de elote adicionadas con mucílagos de las cinco variedades evaluadas.

4.2.4 Variables medidas en crema de elote y néctar de mango

En néctar de mango las variables que se midieron fueron viscosidad, color, pH y sólidos solubles. En crema de elote se evaluó viscosidad, color, pH y una

prueba sensorial JAR se aplicó. Las variables en néctar de mango se analizaron con un diseño factorial 2 x 5, con dos concentraciones de espesante y mucílagos de cinco especies de nopal y en crema de elote el diseño fue 2 x 6, con dos concentraciones y cinco espesantes; para la comparación se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey $\alpha < 0.0005$ y $\alpha < 0.0008$ para néctar y crema respectivamente.

Viscosidad

La viscosidad se midió en vasos plásticos (12 cm x 8 cm) de 250 mL, con un viscosímetro Brookfield DV2T (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Massachusetts, EUA) (Figura 23) con ajuga de disco #03 y #04 para crema de elote y #02 para néctar de mango. La viscosidad se midió a 20 rpm para crema de elote y 50 rpm para néctar de mango por 35 s. La medida fue tomada directamente del viscosímetro. Los resultados fueron expresados en Pa*s.

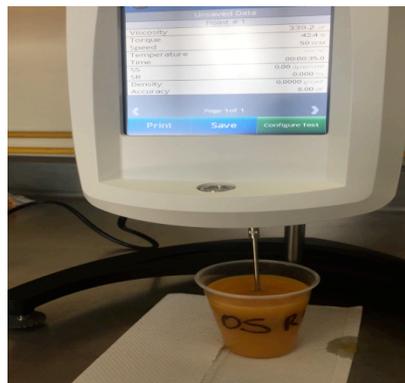


Figura 23. Medición de viscosidad en néctar de mango con viscosímetro Brookfield.

Color

Un colorímetro Hunter Lab modelo MiniScan XE plus (Hunter associates Laboratory inc. Virginia, EUA) se empleó para medir el color. Los valores “L”, “a” y “b” se obtuvieron de las muestras en la celda de vidrio, sobre el ocular del colorímetro, cubiertas con el cilindro negro (para evitar la refracción de luz). El

ángulo de tono se reportó en grados ($^{\circ}$) y se calculó con $\tan^{-1}(b/a)$ y el índice de saturación con $(\sqrt{a^2 + b^2})$.

pH

El pH se midió en muestra de 100 mL de cada tratamiento y sus repeticiones. Se utilizó un potenciómetro modelo HI 98140 (Hanna Instruments Inc., Rhode Island, EUA) que se calibró con soluciones estándar de pH 4, 7 y 10.

Sólidos solubles

Los sólidos solubles se midieron con un refractómetro manual y se expresaron en $^{\circ}$ Brix.

4.2.5 Evaluación sensorial

Únicamente se realizaron las pruebas sensoriales para el producto crema de elote es sus tratamientos: T2 (Tovarito, 1.0 %), T4 (M. Alta, 1.0 %), T6 (Atlixco, 1.0 %), T8 (Toluca, 1.0 %), T10 (T. Blanca, 1.0 %) y T12 (Almidón M., 1.0 %) ya que fue la concentración que presentó mayores diferencias significativas en viscosidad. Se aplicaron dos pruebas: aceptabilidad global y prueba JAR en esta última, únicamente se les pidió a los panelistas indicar su aceptabilidad y lo adecuada que les parecía la viscosidad, debido a que, en la prueba cero (en donde se probó crema de elote adicionada con mucílago 0.7 % y 1.0 %) no se notó ningún cambio sensorial en cuanto a sabor, color y aroma en las muestras adicionadas con mucílago y por consecuencia solamente se decidió evaluar el atributo de viscosidad. Las cremas de elote fueron elaboradas una noche antes de realizar la evaluación sensorial, permanecieron en refrigeración aproximadamente durante 8 h, para posterior llevarlas a temperatura ambiente a través de un baño maría con agua caliente a 30 $^{\circ}$ C.

4.2.6 Prueba de aceptabilidad global

Se emplearon 100 panelistas no entrenados de 16 a 30 años. El código de letras para identificar las muestras, así como la formulación y la hoja maestra empleadas, se pueden observar en los apéndices 1 y 2. La evaluación se

realizó en un solo día, se vertieron 15 mL de cada muestra en vasos del número cero. A cada panelista se le proporcionó 6 muestras de crema de elote, un vaso de agua y el formato de respuesta (Anexo 3); en el que se les solicitaba evaluar el nivel de aceptabilidad global de cada muestra con una escala hedónica de 9 puntos donde 1 significa “me disgusta extremadamente” y 9 significa “me gusta extremadamente”. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha < 0.05$).

4.2.7 Prueba JAR

En esta prueba se solicitó a los panelistas expresar su calificación sobre lo adecuado que fue la intensidad percibida en viscosidad. Primero se empleó una escala hedónica de aceptabilidad de viscosidad de nueve puntos (donde 1 significa “me disgusta extremadamente” y 9 significa “me gusta extremadamente”) seguida de una escala Just About Right (JAR) de cinco puntos (Anexo 4) donde 1 significa “insuficientemente viscosa” y 5 significa “demasiada viscosa”. La evaluación de dicho atributo permitió dilucidar aquellos tratamientos que no poseen los niveles adecuados de viscosidad. Con los datos de la evaluación JAR y la aceptabilidad global de los tratamientos evaluados se efectuó un análisis de penalización de medias con el software XLSTAT® 2014 (Addinsoft, EUA) para cada tratamiento.

4.3 Resultados

4.3.1 Efecto en néctar de mango adicionado con mucílago de nopal de 5 variedades

En la Figura 24 se observa que el efecto en la viscosidad de néctar de mango por la adición de los cinco mucilagos a diferentes concentraciones es nulo. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Medina, Brito, Torrestiana, y Katthain (2000), los cuales investigaron la dependencia de la viscosidad y pH en mucílago de *Opuntia ficus indica* al 5 % a 25 °C y encontraron que en un rango de pH de 2.0 a 7.0 la viscosidad disminuye en comparación con la región alcalina (pH 7.0 a 10.0) en la cual la viscosidad aumenta y es constante, el

aumento de viscosidad según los autores, puede deberse a la ionización de los grupos carboxilo del mucílago por encima de pH 7.0.

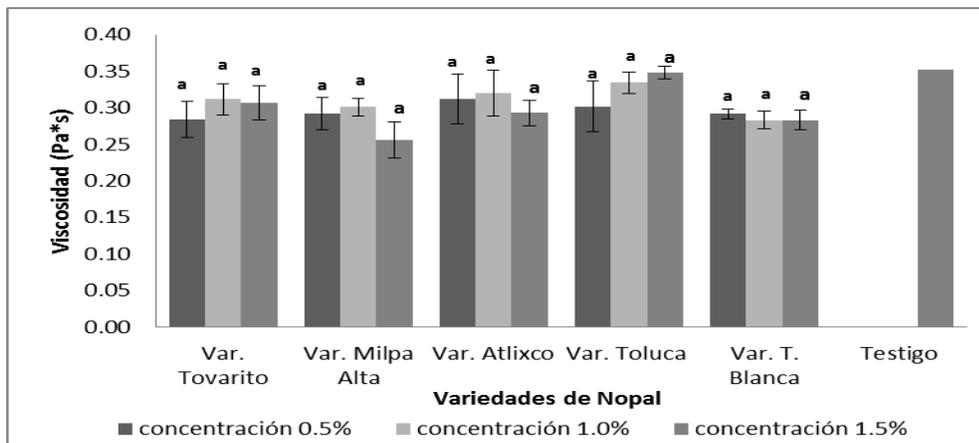


Figura 24. Valores de viscosidad (Pa*s) en néctar de mango adicionado con mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^ZMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).

En la Figura 25 se observa que el pH del néctar de mango en todos los tratamientos es bajo, lo que explica que el mucílago no tuviera el efecto esperado como espesante, estos resultados limitan el uso del mucílago en productos ácidos como jugos, néctares, mermeladas de cítricos, yogures, entre otros.

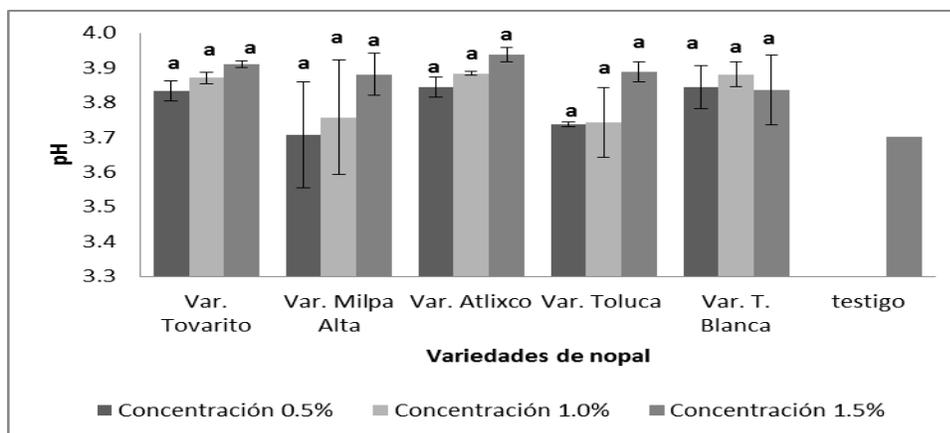


Figura 25. Datos pH en néctar de mango adicionado con mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^ZMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).

En la Figura 26, se observa que los sólidos solubles fluctuaron de 12.3 a 12.9 sin embargo, el efecto del mucílago no fue estadísticamente significativo. En cuanto al color de los néctares, tuvieron la misma luminosidad en todos los tratamientos (Cuadro 15) con una cromaticidad en el espectro amarillo – rojo, un ángulo de tono muy cercano al color amarillo, en cuanto a pureza no hubo diferencia significativa entre tratamientos sin embargo, el mucílago de la variedad T. Blanca tuvo un efecto en el descenso de pureza en el néctar de mango a medida que aumentaba la concentración. Al igual que en los sólidos solubles, el mucílago no tuvo un efecto estadísticamente significativo en color de los diferentes tratamientos evaluados en néctar de mango.

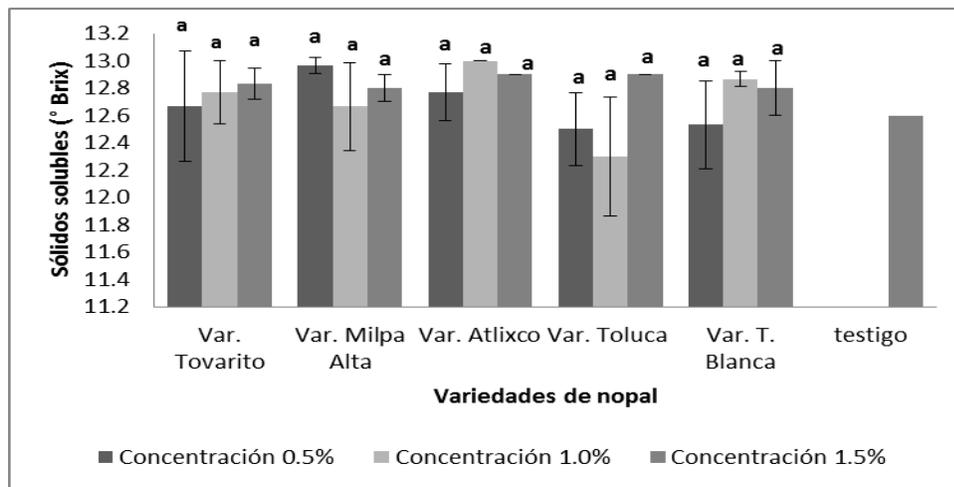


Figura 26. Sólidos solubles en néctar de mango adicionado con mucílago de cinco variedades de nopal a tres concentraciones. ^zMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).

Cuadro 15. Parámetros de color en los tratamientos evaluados en néctar de mango.

Tratamiento	Luminosidad	Ángulo de tono	Índice de saturación
Testigo	29.49	63.5	18.54
T1(Tovarito, 0.1%)	29.2a ^z	63.1a	18.2a
T2 (Tovarito, 0.2%)	29.2a	63.4a	18.2a
T3 (Tovarito, 0.3%)	28.9a	63.5a	18.2a
T4 (M. Alta, 0.1%)	29.3a	63.7a	18.6a
T5 (M. Alta, 0.2%)	28.8a	63.9a	18.1a
T6 (M. Alta, 0.3%)	29.0a	64.3a	18.2a

Tratamiento	Luminosidad	Ángulo de tono	Índice de saturación
T7 (Atlixco, 0.1%)	29.3a	64.0a	18.6a
T8 (Atlixco, 0.2%)	28.7a	64.4a	18.1a
T9 (Atlixco, 0.3%)	28.8a	64.6a	18.0a
T10 (Toluca, 0.1%)	29.3a	64.1a	18.4a
T11 (Toluca, 0.2 %)	29.3a	64.6a	18.3a
T12(Toluca, 0.3%)	29.2a	64.2a	18.5a
T13 (T. Blanca 0.1%)	29.0a	63.8a	18.2a
T14 (T. Blanca 0.2%)	28.6a	64.0a	17.9a
T15 (T. Blanca 0.3%)	28.7a	63.7a	17.8a

^Z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0005$).

4.3.2 Efecto en crema de elote adicionada con mucílago de nopal de cinco variedades

El efecto de los mucílago estudiados en el cambio de viscosidad de crema de elote se observa en la Figura 27. Todas las variedades mostraron un incremento de la viscosidad al aumentar la concentración, las cremas adicionadas con mucílago elevaron su viscosidad con respecto al testigo.

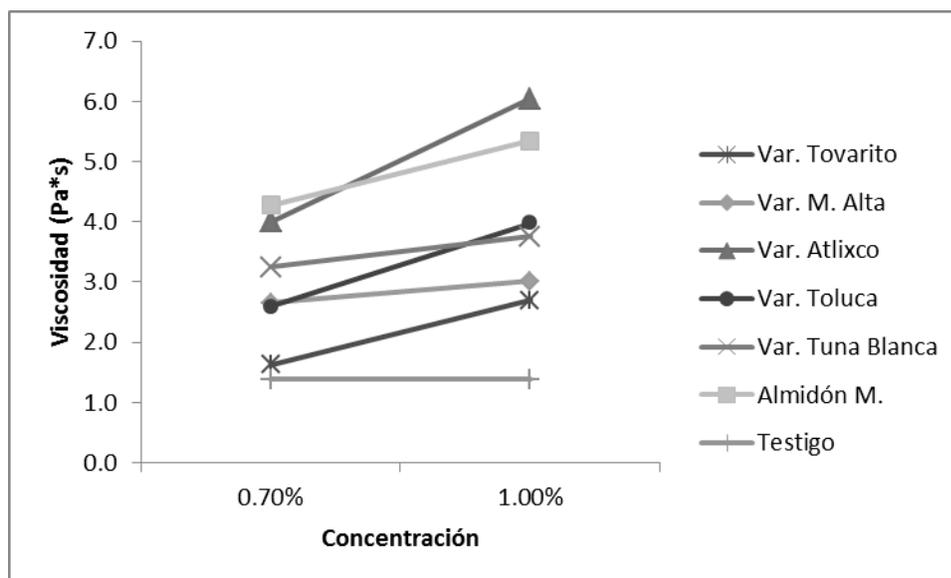


Figura 27. Viscosidad (Pa*s) en crema de elote adicionada con cinco mucílago de nopal a dos concentraciones.

Existieron diferencias significativas entre los mucílagos tal y como se observa en el Cuadro 16, el mayor efecto lo mostraron el almidón modificado junto a los mucílagos de las variedades Atlixco, Tuna blanca y Toluca, Milpa alta y Tovarito fueron los mucílagos con menor efecto en el incremento de viscosidad en las cremas.

Cuadro 16. Efecto de mucílagos evaluados y almidón modificado a dos concentraciones (0.7 % y 1.0 %) en el cambio de viscosidad en crema de elote.

Espesante	Media
Almidón modificado	4.8 a
Atlixco	4.6 ab
Tuna Blanca	3.5 abc
Toluca	3.3 abc
Milpa Alta	2.8 bc
Tovarito	2.2 c

²Medias sin una letra en común son diferentes. ($p \leq 0.0008$).

Roberts (1945) observó que el mucílago extraído de las pencas de Opuntia varía en su viscosidad dependiendo de la cantidad de agua que recibe la planta. La tierra extremadamente seca produce mucílago más viscoso que el de las tierras semiáridas. Esta puede ser una razón por la cual, el mucílago de la variedad Atlixco mostró un mayor efecto espesante debido a que las condiciones climáticas y las características de la tierra del cultivo en la fecha de recolección de dicha variedad estaban relativamente más “secas” comparadas con las demás localidades donde se colectaron el resto de las variantes.

Existen pocos estudios sobre el efecto de gomas en sopas cremosas o cremas, tal es el caso de Millan, López y Ramón (2016) los cuales extrajeron goma de semillas de algarrobo variedad local para utilizarlo en sopa de chícharo, trabajaron 3 concentraciones de goma para sopa rehidratada lista para consumo a valores de 0,15; 0,20 y 0,30 %, encontraron valores de viscosidad de 0.804 Pa*s para las concentraciones 0.15 % y 0.20 % y 0.893 Pa*s para la concentración 0.30 % a 30 °C.

Las concentraciones utilizadas en dicho estudio son menores a las empleadas en los 5 mucílagos evaluados (0.7 % y 1.0 %) en crema de elote, sin embargo se considera que los valores de viscosidad obtenidos por los mucílagos no son tan lejanos de los reportados en la goma de algarrobo considerando que la viscosidad no tiene un aumento drástico en las concentraciones evaluadas por Millan et al. (2016).

Por otro lado, se esperaba encontrar mayores diferencias en la viscosidad de crema de elote por el efecto de la adición de los cinco mucílagos estudiados debido a que estos, fueron extraídos de nopales colectados en diferentes lugares considerándose una gran influencia de las condiciones climáticas.

La posible explicación de los resultados obtenidos, se puede asociar con lo descrito por Medina et al. (2000), ellos encontraron que el mucílago es una molécula polielectrolítica con carga negativa. A una fuerza iónica cero, una carga negativa produce una fuerte repulsión intermolecular y por lo tanto la molécula se expande; por otro lado, la adición de iones positivos reduce la repulsión y la expansión de la molécula, produciendo una reducción significativa de la viscosidad. Medina et al. (2000), estudiaron la relación de la viscosidad con concentraciones de iones, y encontraron que la reducción de la viscosidad depende de las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} que de Na^{1+} y K^{1+} .

Los granos de elote enlatados que se utilizaron en la formulación de las cremas, contenían (de acuerdo con la información nutrimental del producto) 3.0 mg de Ca^{2+} y 22 mg de Mg^{2+} . También la leche evaporada, utilizada en las cremas, tenía una porción considerable de los micronutrientes en cuestión. Por lo tanto el contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} en los ingredientes mencionados pudo haber influido en los bajos valores de viscosidad producidos por los mucílagos estudiados. Además en la Figura 28 se observa que los valores de pH en las cremas de elote adicionadas con los cinco mucílagos fluctuaron de 6.03 a 6.32 y de acuerdo con Medina et al. (2000) en un rango de pH de 2 a 7 el efecto en la viscosidad por parte del mucílago *Opuntia Ficus Indica* es reducido.

Con respecto al efecto en el pH de las cremas de elote por la adición de los cinco mucílagos y el almidón modificado a las concentraciones 0.7 % y 1.0 % no fue estadísticamente significativo sin embargo, se observa en la Figura 28 que en todos los tratamientos el pH disminuyó con respecto al testigo, esto puede explicarse en parte, por los valores de pH de los cinco mucílagos extraídos (5.48 a 5.90) reportados en el Capítulo 3.

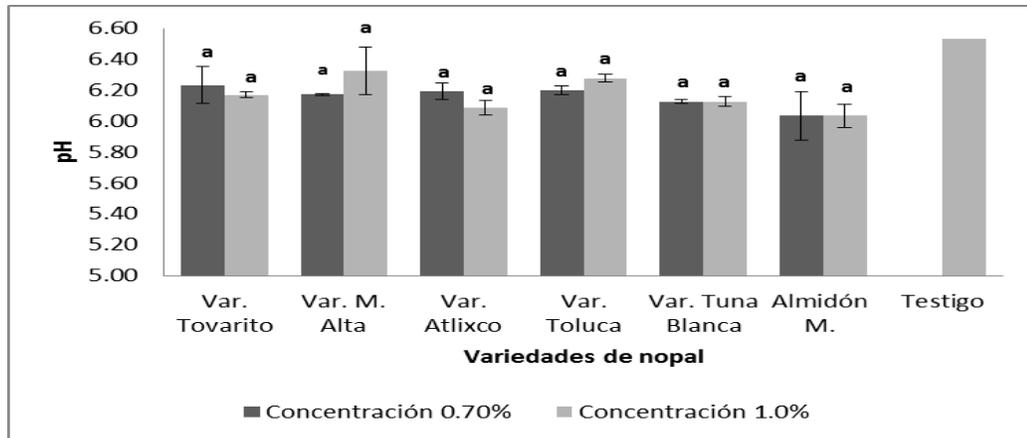


Figura 28. Valores de pH en crema de elote adicionada con cinco mucílagos de nopal y almidón modificado. ^ZMedias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0008$).

Ravindran y Matia (2009) reportan que las cremas son sistemas viscoelásticos complejos debido a las interacciones entre las gomas utilizadas y los demás ingredientes. La producción comercial de sopas depende de su flujo y comportamiento de textura durante y después del procesamiento, por lo tanto es importante comprender la interacción del mucílago de nopal con las propiedades y características de otros ingredientes para poder conocer, en qué tipo de cremas u otros productos es adecuado su incorporación como espesante, ya que, a pesar de haber obtenido un efecto significativo en la viscosidad de crema de elote el pH debajo de 7 sugiere la necesidad de estudiar su efecto en productos con mayores valores de pH.

No se encontró literatura para comparar el color en crema de elote, sin embargo existen estudios que reportan la influencia de espesantes en el color de

productos alimenticios, tal es el caso de Arancibia, Castro, Jublot, Costell y Bayarri (2015) los cuales estudiaron la influencia de carboximetilcelulosa y almidón modificado en el color y percepción sensorial en postres lácteos, ellos encontraron que los espesantes no modificaron el color en postres lácteos elaborados con leche entera mientras que si influyeron en el color de los postres lácteos elaborados con leche descremada, esto quiere decir que los ingredientes utilizados en la formulación de los productos es importante, sobre todo, cuando se usan espesantes que pueden modificar su apariencia física.

En la crema de elote no hubo influencia en el color, estadísticamente significativa entre los cinco mucílagos evaluados y el almidón modificado. Esto se atribuye a que el color de los 5 mucílagos (reportados en el capítulo 3) tuvieron un ángulo de tono muy cercano a 90° es decir al color amarillo, y una cromaticidad en el espectro amarillo-rojo con excepción del mucílago de la variedad Toluca con cromaticidad en el espectro amarillo-verde. En general todos los mucílagos y el almidón modificado fueron adecuados para combinarlos con la leche evaporada (color amarillo beige) y los granos de elote (color amarillo dorado) permitiendo su adaptación al color de los ingredientes. En Cuadro 17 se observa que los tratamientos evaluados en crema de elote tuvieron una cromaticidad en el espectro amarillo-rojo, con un ángulo de tono cercano al amarillo.

Cuadro 17. Parámetros de color en los tratamientos evaluados en crema de elote.

Tratamiento	Luminosidad	Ángulo de tono	Saturación
Testigo	48.08	78.21	17.99
T1 (Tovarito, 0.7%)	47.5a ^z	78.5a	18.3a
T2 (Tovarito, 1.0%)	47.3a	78.4a	18.3a
T3 (M. Alta, 0.7%)	47.8a	79.1a	17.8a
T4 (M. Alta, 1.0%)	47.4a	78.8a	17.8a
T5 (Atlixco, 0.7%)	47.7a	78.8a	17.8a
T6 (Atlixco, 1.0%)	47.0a	78.3a	18.1a
T7 (Toluca, 0.7%)	47.7a	78.7a	18.5a
T8 (Toluca, 1.0%)	47.2 a	78.4a	18.3a

Tratamiento	Luminosidad	Ángulo de tono	Saturación
Testigo	48.08	78.21	17.99
T1 (Tovarito, 0.7%)	47.5a ^z	78.5a	18.3a
T2 (Tovarito, 1.0%)	47.3a	78.4a	18.3a
T3 (M. Alta, 0.7%)	47.8a	79.1a	17.8a
T4 (M. Alta, 1.0%)	47.4a	78.8a	17.8a
T5 (Atlixco, 0.7%)	47.7a	78.8a	17.8a
T6 (Atlixco, 1.0%)	47.0a	78.3a	18.1a
T7 (Toluca, 0.7%)	47.7a	78.7a	18.5a
T8 (Toluca, 1.0%)	47.2 a	78.4a	18.3a
T9 (T. Blanca, 0.7%)	47.2 a	78.5a	18.2a
T10 (T. Blanca, 1.0%)	47.2a	78.6a	18.1a
T11 (Almidón M., 0.7%)	46.6a	79.5a	17.5a
T12 (Almidón M., 1.0%)	46.2a	79.4a	18.1a

^z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.0008$).

Determinación de tipo de fluido en crema de elote

Para caracterizar el comportamiento de la viscosidad en la crema de elote y determinar el tipo de fluido (newtoniano o no newtoniano), se realizó una curva de viscosidad para comprobar la dependencia del fluido al tiempo de exposición al movimiento del mismo. La Figura 29 se muestra como a medida que la velocidad del rotor aumenta, la viscosidad disminuye, este comportamiento se conoce comúnmente como de “bajada”. Cuando la velocidad del rotor se reduce, la curva muestra un incremento en la viscosidad de manera exponencial, formando una curva paralela que se conoce como de “subida”.

Brookfield (2000) describe que cuando un fluido es Newtoniano, es decir independiente del tiempo del proceso de movimiento, no existe diferencia gráfica entre las curvas de “bajada” y “subida” pues la viscosidad es la misma independientemente del tiempo que tarde en analizarse. En caso de que ambas curvas se encuentren gráficamente diferenciadas, se trata de un fluido no newtoniano. Si la curva de “subida” se encuentra por encima de la de “bajada” se trata de un fluido reopéctico, al contrario, se trata de un fluido tixotrópico.

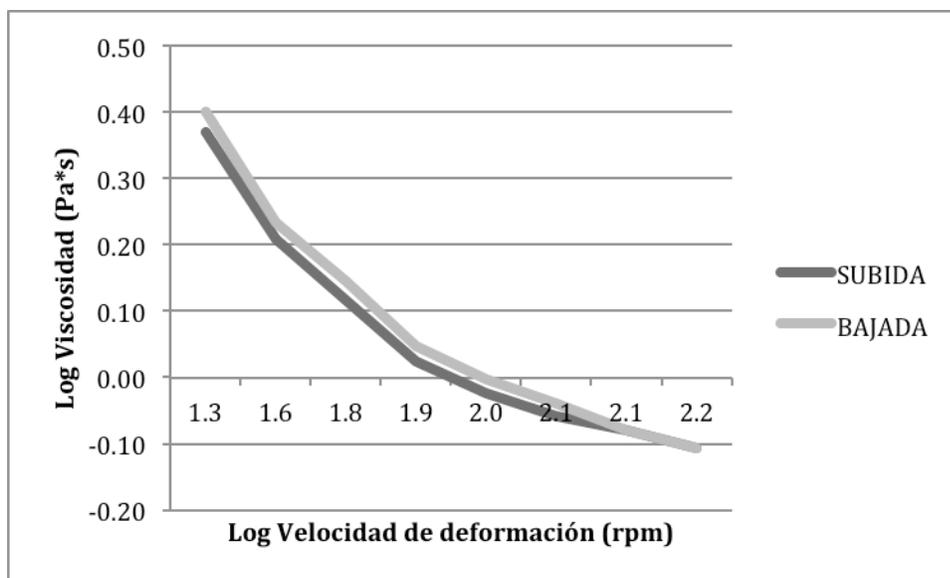


Figura 29. Curvas de viscosidad de "subida" y "bajada" a diferentes revoluciones por minuto en crema de elote adicionada con mucílago de nopal.

Como se observa en la Figura 29, la curva de "subida" está por debajo de la curva de "bajada", por lo tanto la crema de elote adicionada con mucílago de nopal, es un fluido no newtoniano con comportamiento tixotrópico, esto coincide con lo reportado por Medina et al. (2000) quienes observaron un comportamiento no-newtoniano de adelgazamiento por cizallamiento de soluciones acuosas del mucílago aislado de los tallos *Opuntia ficus indica*.

Con un ajuste al modelo de $R^2 = 99\%$ de una regresión potencial se obtuvo la ecuación que describe la relación exponencial inversa entre la viscosidad de la crema y la velocidad de rotor: $\eta = 14.36 V^{-0.5783}$ (donde η = viscosidad de la crema (Pa*s) y V= velocidad del rotor del viscosímetro (rpm)). La ecuación encontrada para la crema de elote adicionada con mucílago se asemeja a lo reportado por Ospina (2016) quien reportó una ecuación para crema comercial sabor a pollo con goma xantana de $\eta = 12.57 V^{-0.809}$

4.3.3 Resultados de Evaluación sensorial

Aceptabilidad global y aceptabilidad por viscosidad

Se tiene evidencia estadística ($p\text{-value}<0.0001$) para declarar diferencia en la aceptabilidad global entre tratamientos (Anexo 22). En el Cuadro 18 se muestra la comparación de medias entre la crema de elote con almidón modificado y las cremas adicionadas con los cinco mucílagos estudiados, a una concentración de 1.0 %. Como se observa la mayor aceptabilidad fue para la crema de elote con almidón modificado y es estadísticamente igual a la crema de elote adicionada con mucílago de la variedad Milpa Alta, esta última a su vez, tiene la misma aceptación que las cremas adicionadas con los mucílagos de T. Blanca, Tovarito y Toluca. La crema con menor aceptación fue la adicionada con el mucílago de la variedad Atlixco. En general, todas las cremas adicionadas con mucílago de nopal presentaron una baja aceptación con respecto a la crema que contenía almidón modificado.

Cuadro 18. Comparación de medias en la prueba de aceptabilidad global.

Tratamiento	Media
T12 (Almidón M., 1.0%)	6.41 a^z
T4 (M. Alta, 1.0%)	5.86 ab
T10 (T. Blanca, 1.0%)	5.71 bc
T2 (Tovarito, 1.0%)	5.65 bc
T8 (Toluca, 1.0%)	5.37 bc
T6 (Atlixco, 1.0%)	5.18 c

^z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p\leq 0.05$).

Estos resultados sugieren que aparte de la viscosidad hubo otros atributos percibidos por los panelistas en las cremas de elote adicionadas con mucílago que ocasionaron su baja aceptación. Lo anterior se deduce, porque al realizar el análisis de aceptación por viscosidad (Anexo 23), se declaró diferencia estadística ($p\text{-value}<0.0001$) entre tratamientos sin embargo, como se muestra en el Cuadro 19, todas las cremas evaluadas tuvieron la misma aceptación de viscosidad con excepción de la crema adicionada con mucílago de la variedad Atlixco, ya que ésta fue percibida por los panelistas como “excesiva en viscosidad” (en el análisis de penalidad), efectivamente el mucílago de la

variedad Atlixco al 1.0 % fue el que mayor influencia tuvo en la viscosidad de crema de elote (6.04 Pa*s).

Cuadro 19. Comparación de medias de la prueba de aceptabilidad para viscosidad.

Tratamiento	Media
T4 (M. Alta, 1.0%)	5.95 a^z
T12 (Almidón M., 1.0%)	5.84 a
T10 (T. Blanca, 1.0%)	5.69 a
T2 (Tovarito, 1.0%)	5.58 a
T8 (Toluca, 1.0%)	5.42 a
T6 (Atlixco, 1.0%)	4.83 b

^z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

Ravindran y Matia (2009), aplicaron una prueba de aceptabilidad general utilizando una escala de 1 a 9, en sopas cremosas rehidratadas con sabor a pollo utilizando como espesantes almidón modificado de maíz (5.0 %) y diferentes niveles de remplazo del almidón por polisacáridos de fenogreco (0.1 %, 0.2 %, 0.5 %, 0.7 % y 0.9 %), ellos encontraron valores de aceptabilidad entre 6.0 y 7.5. Por otro lado, Millan et al. (2016) aplicaron una prueba de preferencia por ordenamiento en sopa cremosa de chícharo con espesante de goma de algarrobo (0.15 %, 0.20 % y 0.30 %) y encontraron que la sopa de chícharo con goma (0.30 %) fue la más aceptada.

Dichas investigaciones muestran un efecto sensorial positivo de los espesantes utilizados en cremas sabor a pollo y chícharo. Comparando estas referencias con la aceptabilidad que tuvieron las cremas de elote adicionadas con mucílago, se define que éste no tuvo un efecto sensorial positivo en las cremas, por lo tanto se sugiere probar el mucílago en otros productos sobre todo para caracterizar los atributos sensoriales (como sabor, aroma, textura, etc.) causados por la interacción del mucílago con componentes como grasa, proteínas y nutrientes y así encontrar los productos más idóneos para su aplicación.

En cuanto a la buena aceptación que tuvo la crema de elote adicionada con almidón modificado, puede atribuirse a la interacción positiva de los gránulos de

almidón con los ingredientes utilizados en la formulación de las cremas; por ejemplo, con la leche evaporada, ya que, en una investigación realizada por Arancibia et al. (2015) encontraron mayor intensidad en atributos de sabor y textura percibidos por los panelistas en postres lácteos adicionados con almidón modificado que con carboximetilcelulosa. De acuerdo con lo mencionado anteriormente es evidente que los espesantes y concentraciones evaluadas modifican el sabor y textura del producto final.

Análisis de Penalidad de medias para los tratamientos evaluados

El análisis de penalidad de medias se caracteriza por la interpretación de gráficos, en los que, la penalización del atributo, en este caso de viscosidad, está dada por el decremento de la media en la aceptabilidad del producto (ordenada de la gráfica) y el porcentaje de evaluadores que definieron la intensidad del atributo en el producto como no adecuada (a menudo nombrado como “% no-JAR”, en la abscisa).

De acuerdo con Gacula (2007) un producto con un valor alto de aceptabilidad tendrá poco efecto en la reducción de la media y un pequeño porcentaje no-JAR. El análisis de penalización de medias utiliza a menudo una “poda” de los % no-JAR. Este corte obedece al principio de Pareto, en el que se establece que el 80% de los efectos corresponde al 20 % de las causas; por lo cual, el 20 % más pequeño se toma como “no importante” para explicar el análisis total del producto, en este estudio también se consideró el 50 %, representado en la Figura 30 por líneas verticales de color azul y rojo para el 20 % y 50 % respectivamente.

De los 6 tratamientos evaluados, únicamente las cremas de elote adicionadas con mucílagos de las variedades M. Alta (T4) y T. Blanca (T10) junto a la crema de elote con almidón modificado (T12) fueron estadísticamente significativos en el análisis de penalidad de medias, también los T4, T10 y T12 tuvieron los valores medios más altos en aceptación global y aceptación por viscosidad. En

la Figura 30, se observa el gráfico de penalización de viscosidad para los tratamientos evaluados en crema de elote.

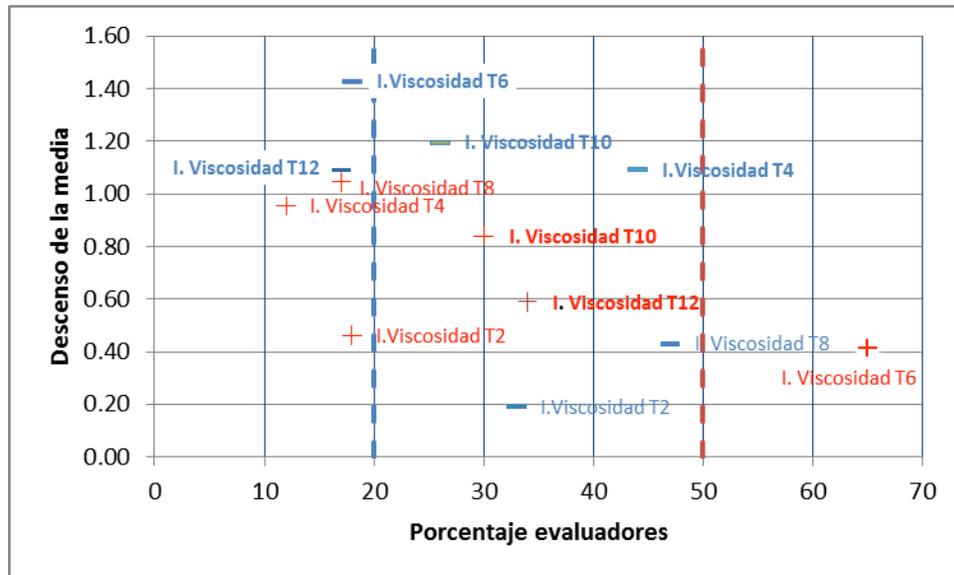


Figura 30. Penalización de las medias de aceptación de la viscosidad para los tratamientos 2, 4, 6, 8, 10 y 12 en crema de elote adicionada con cinco mucílagos y almidón modificado a una concentración 1.0 %.

El tratamiento 4 (Crema de elote adicionada con mucílago de la variedad M. Alta) resultó estadísticamente significativo en el análisis de penalidad (Anexo 25). El 44 % de los panelistas consideró que la viscosidad era adecuada, la penalidad en general fue de 1.0617. En la Figura 30, se observa que el 44 % de los panelistas percibió, para este tratamiento, una intensidad insuficiente de viscosidad con una caída de la media de aceptabilidad de 1.090. Por el contrario el 12 % de los panelistas calificó una intensidad excesiva con un descenso en el valor medio de penalidad de 0.954. Los porcentajes no-JAR se encuentran por debajo del umbral considerado del 50%.

Para el tratamiento 10 (Crema de elote adicionada con mucílago de la variedad T. Blanca) el análisis de penalidad de medias es estadísticamente significativo (Anexo 26). En la Figura 30 se observa que los porcentajes “no-JAR” se encuentran por debajo del umbral considerado del 50 %, de esta manera el 26

% de los panelistas consideró una intensidad insuficiente en la viscosidad con una caída del valor medio de aceptabilidad de 1.19. Por el contrario el 30 % de los jueces calificó un exceso de viscosidad con un descenso en el valor medio de aceptabilidad de 0.839. El 44 % de los panelistas considero una viscosidad adecuada. La penalidad en general es de 1.0049 puntos que descienden de la media de aceptabilidad cuando los panelistas no consideran la viscosidad adecuada.

El tratamiento 12 (Crema de elote con almidón modificado) fue estadísticamente significativo en el análisis de penalidad de medias (Anexo 27) para la variable viscosidad. En la Figura 30 se observa que el 17 % de los panelistas consideró que la viscosidad tenía una intensidad insuficiente con un descenso del valor medio de aceptabilidad de 1.09. Por el contrario, el exceso de viscosidad se penalizó por el 34 % de los jueces, aunque el valor medio de aceptabilidad descendió en 0.59 puntos de la escala hedónica. La penalidad en general es de 0.7567 es decir, es la cantidad de puntos perdidos cuando los panelistas no consideran la viscosidad de la crema adecuada. El porcentaje no-JAR se encontró por debajo del umbral establecido de 50 %.

De los tres tratamientos estadísticamente significativos en el análisis de penalidad es decir los tratamientos T4, T10 y T12. El tratamiento 12 mostró un menor decremento (0.7567) de la media de aceptabilidad con respecto al T4 (1.0617) y T10 (1.0049).

Para el tratamiento 6 (Crema de elote adicionada con mucílago de la variedad Atlixco) el análisis de penalidad de medias no fue estadísticamente significativo (Anexo 28) sin embargo, el gráfico de penalización (Figura 30) proporciona una idea del sentido en que podría modificarse la viscosidad. En el gráfico se observa que el 18 % de los panelistas considero que la viscosidad tenía una intensidad insuficiente, para el tratamiento 6, con una caída de la media de aceptabilidad de 1.42 puntos. Por el contrario el 65% de los panelistas penalizó el exceso de viscosidad con un descenso del valor medio de aceptabilidad de

0.41. Para este tratamiento lo ideal sería probar una concentración de mucílago menor al 1%.

Para el tratamiento 2 (Crema de elote adicionada con mucílago de la variedad Tovarito) el análisis de penalización de medias no es estadísticamente significativo (Anexo 29). En la Figura 30 se observa que 33 % considero como insuficiente a la viscosidad con una caída de la media de aceptabilidad de 0.18, y el 18 % de los panelistas penalizó el exceso de viscosidad con un descenso del valor medio de aceptabilidad de 0.46. Para este tratamiento se recomienda aumentar la concentración de mucílago de la variedad Tovarito.

Finalmente para el tratamiento 8 el análisis de penalización de medias no es estadísticamente significativo (Anexo 30). En la Figura 30 se observa que el 17 % de los panelistas penalizaron el exceso de viscosidad, con una caída de la media de aceptabilidad de 1.04 puntos. Por el contrario el 47 % de los panelistas consideraron insuficiente intensidad de viscosidad con un descenso de valor medio de aceptabilidad de 0.43 puntos.

4.4 Conclusiones

El mucílago de nopal (*Opuntia spp*) tiene propiedades adecuadas para su uso como espesante, sin embargo a valores de pH de 2 a 7 su efecto en la viscosidad es reducido, por tal motivo en el néctar de mango, con pH de 3.7 los mucilagos de las cinco variedades evaluadas no tuvieron un efecto significativo como agente espesante.

Por el contrario, el efecto de los cinco mucílago evaluados como espesantes en crema de elote tuvieron un efecto significativo. Las concentraciones evaluadas de 0.7% y 1.0% no fueron diferentes en todas las variedades estudiadas, con excepción del mucílago de la variedad Atlixco, el cual mostró un efecto elevado en la viscosidad a una concentración 1.0 %, éste fue igual al efecto del almidón modificado (0.7% y 1.0%). Es importante mencionar que el mucílago de la variedad Tuna Blanca tuvo un efecto considerable en la viscosidad en crema de elote lo que es una alternativa para la extracción de

mucílago de las pencas que se podan de los cultivos destinados para la producción de fruta (Tuna).

En cuanto al color de los mucílagos éstos fueron combinados exitosamente con los ingredientes utilizados en las cremas, debido a que, no hubo un cambio negativo en los parámetros de color de las cremas de elote. Los valores bajos de pH de los cinco mucílagos evaluados no influyeron negativamente, debido a que el pH en las cremas adicionadas con mucílagos en ambas concentraciones 0.7 % y 1.0 % fueron iguales a las cremas con almidón modificado. Las cremas de elote adicionadas con mucílagos de las variedades Atlixco, M. Alta, Toluca, Tovarito y T. Blanca tuvieron una baja aceptación en comparación con la crema de elote con almidón modificado, siendo la crema con mucílago de Atlixco 1.0 %, la que menor media de aceptación presentó debido a su alta viscosidad. Los mucílagos otorgaron atributos sensoriales negativos a la crema de elote, debido al tipo de extracción de mucílago empleado, ya que los mucílagos no fueron purificados.

4.5 Referencias

Arancibia, C., Castro, C., Jublot, L., Costell, E., & Bayarri, S. (2015). Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.024>

Brookfield Engineering Lab. Inc. 2000. More solutions to sticky problems.

Espinosa, S., 2002. Estudio de algunas propiedades físicas de hidrocoloides provenientes de la semilla de algarrobo (*Prosopis chilensis* Mol.) Stuntz) y de cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Tesis de Grado. Magister en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, 71pp.

Garti, N., 1999. Hydrocolloids as emulsifying agents for oil-water emulsions. *Journal of Dispersion and Science Technology* 20 (1&2), 327–355.

Garti, N., Leser, M.E., 2001. Emulsification properties of hydrocolloids. *Polymers for Advanced Technologies* 12, 123–135.

- Gacula, M. J. 2007. The just about right intensity scale: Functional analyses and relation to hedonics. *Journal of Sensory Studies*, Volumen 22, p. 194-211.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., & Kattthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14(5), 417–424. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00015-1)
- Millan, 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.
- NOM-130-SSA1-1995. Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- Ospina Casas, K. G. (2016). Estudio de la interacción de hidrocoloides empleados en alimentos y su efecto en las propiedades reológicas y de textura sensorial e instrumental, 81. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/56646/>
- Rodríguez, E., Sandoval, A., & Ayala, A. (2003). Hidrocolides Naturales de Origen Vegetal. *Tecnura*, 13(13), 4–13.
- Roberts, P.B., 1945. Resilient plastic material and process for making it. US Patent 2,386,264.
- Ravindran, G., & Matia-Merino, L. (2009). Starch-fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) polysaccharide interactions in pure and soup systems. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 1047–1053. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.010>
- Sheldrake, P. (2003). *Texture in food. Semi-solid foods. Controlling textures in soups, sauces and dressings.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sepúlveda, E., & Saéñz, C. Aliaga, E. Aceituno, C. (2006). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *International Food Research Journal*, 18(1), 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.0>

5 ANEXOS

Anexo 1. Nomenclatura y Composición de cremas de elote evaluadas en prueba sensorial

Nomenclatura utilizada para la identificación cremas de elote evaluadas

Etiqueta	Tratamiento
A	T12: Crema de elote con espesante de almidón modificado
B	T6: Crema de elote con espesante de mucílago de nopal variedad Atlixco
C	T2: Crema de elote con espesante de mucílago de nopal variedad Tobarito
D	T8: Crema de elote con espesante de mucílago de nopal variedad Toluca
E	T10: Crema de elote con espesante de mucílago de nopal variedad Tuna Blanca
F	T4: Crema de elote con espesante de mucílago de nopal variedad Milpa Alta

Composición de cremas de elote

Ingrediente	Cantidad (g)
Granos de elote	300
Agua	350
Leche evaporada	293
Mantequilla	25
Cebolla	15
Sazonador	7
Espesante	10

Anexo 2. Hoja maestra para presentación de muestras

Panelist a	Permutación	Número Aleatorio					
1	BACDEF	683	159	142	409	619	973
2	ABCDEF	628	709	113	412	193	115
3	EDCBAF	424	501	540	344	762	245
4	ABCDEF	634	720	697	937	242	282
5	ABCDEF	808	951	676	973	868	867
6	CBADEF	165	479	585	127	901	812
7	ABCDEF	124	501	499	842	176	715
8	FDCBAE	948	475	496	128	896	281
9	BACDEF	981	175	944	143	117	820
10	DCBAEF	810	171	340	748	781	669
11	EDCBAF	238	259	786	365	863	644
12	DCBAEF	574	264	761	975	969	250
13	ABCDEF	820	639	303	346	443	371
14	FDCBAE	132	631	100	404	200	558
15	BACDEF	215	268	404	871	369	250
16	BACDEF	442	875	750	171	746	848
17	FDCBAE	669	623	841	547	462	797
18	BACDEF	458	721	193	712	281	852
19	CBADEF	739	122	974	442	802	114
20	DCBAEF	583	997	403	304	797	992
21	DCBAEF	590	931	873	611	108	150
22	FDCBAE	515	969	543	653	540	961
23	CBADEF	789	650	312	345	433	373
24	CBADEF	453	709	306	197	402	973
25	DCBAEF	434	100	580	889	819	274
26	FDCBAE	522	368	730	302	523	554
27	BACDEF	386	722	216	115	885	268
28	FDCBAE	318	126	503	200	334	577
29	FDCBAE	578	443	240	638	354	662
30	BACDEF	415	675	663	552	492	591
31	FDCBAE	689	584	185	238	467	557
32	ABCDEF	984	917	953	804	452	184
33	CBADEF	577	902	706	834	359	472
34	CBADEF	881	344	590	845	670	904
35	ABCDEF	942	829	551	706	483	855
36	BACDEF	503	947	430	782	372	918
37	BACDEF	933	102	325	218	781	682
38	CBADEF	672	198	645	793	327	481
39	FDCBAE	307	566	971	468	817	605
40	BACDEF	445	216	554	100	242	295
41	ABCDEF	607	468	818	186	778	255

42	ABCDEF	132	823	702	676	201	619
43	ABCDEF	316	879	264	196	308	429
44	BACDEF	377	435	982	388	707	127
45	DCBAEF	306	492	419	389	467	364
46	EDCBAF	520	866	250	743	853	506
47	FDCBAE	262	962	977	978	104	763
48	FDCBAE	528	494	160	413	647	676
49	ABCDEF	433	654	904	319	534	652
50	DCBAEF	275	250	738	496	217	939
51	ABCDEF	198	504	335	595	657	392
52	DCBAEF	803	256	522	717	696	828
53	DCBAEF	496	748	807	685	934	109
54	EDCBAF	535	424	942	369	682	334
55	EDCBAF	752	319	833	812	639	960
56	BACDEF	758	398	563	943	426	247
57	EDCBAF	998	945	640	969	201	396
58	ABCDEF	448	503	621	334	714	885
59	DCBAEF	507	389	542	593	666	650
60	CBADEF	173	937	482	378	335	414
61	ABCDEF	258	573	230	933	228	629
62	ABCDEF	333	155	211	824	544	141
63	DCBAEF	767	525	708	188	282	296
64	BACDEF	281	832	669	161	119	345
65	CBADEF	327	165	589	870	663	939
66	EDCBAF	938	334	841	301	607	826
67	ABCDEF	735	967	470	260	524	710
68	BACDEF	599	430	176	461	840	191
69	BACDEF	456	116	899	159	279	346
70	DCBAEF	983	963	634	734	114	215
71	ABCDEF	836	203	483	949	266	785
72	ABCDEF	502	726	914	853	815	458
73	EDCBAF	983	339	670	764	178	484
74	CBADEF	553	677	508	979	419	830
75	FDCBAE	539	949	628	260	449	734
76	CBADEF	878	773	751	214	388	871
77	DCBAEF	736	472	394	434	120	929
78	DCBAEF	297	134	481	559	391	911
79	DCBAEF	384	564	781	807	914	688
80	CBADEF	110	682	961	411	359	685
81	ABCDEF	744	517	645	546	436	146
82	BACDEF	382	473	586	756	758	388
83	BACDEF	772	246	686	732	682	251
84	EDCBAF	987	329	537	477	421	811
85	CBADEF	559	662	553	489	504	646

86	CBADEF	613	550	482	375	895	807
87	FDCBAE	817	699	214	750	162	790
88	CBADEF	995	113	688	116	753	720
89	BACDEF	632	380	812	580	663	951
90	EDCBAF	504	823	545	370	708	339
91	BACDEF	945	793	212	485	370	169
92	CBADEF	141	306	901	980	383	869
93	CBADEF	238	221	763	282	699	692
94	ABCDEF	879	532	700	973	159	972
95	BACDEF	468	805	307	133	312	697
96	BACDEF	361	683	970	399	915	375
97	FDCBAE	557	212	965	468	937	219
98	CBADEF	618	301	230	816	621	520
99	DCBAEF	811	661	728	221	927	590
100	ABCDEF	784	187	160	956	231	969

Anexo 3. Formato de respuesta de aceptabilidad global para cada tratamiento evaluado.

PRUEBA DE ACEPTABILIDAD GLOBAL EN CREMA DE ELOTE

Prueba: _____

Edad: _____

Pruebe las muestras de izquierda a derecha SÓLO UNA VEZ y de cada una emita un juicio del “NIVEL DE ACEPTABILIDAD GLOBAL” que le da a cada muestra usando la siguiente escala:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	Ni me disgusta ni me gusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Muestra: _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Anexo 4. Formato de respuesta de aceptabilidad por viscosidad y escala JAR.

Muestra _____ Edad _____
VISCOSIDAD. Evalúe la muestra e indique el nivel de aceptabilidad que le otorga a la muestra. Marque con **X** la opción deseada.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	Ni me disgusta ni me gusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Marque con una **X** en la siguiente escala ¿CÓMO LE HA PARECIDO LA VISCOSIDAD?

Insuficientemente viscosa	Poca viscosa	Viscosidad adecuada	Muy viscosa	Demasiado viscosa
---------------------------	--------------	---------------------	-------------	-------------------

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable respuesta Rendimiento en mucílago de nopal de un Diseño completamente al Azar (DCA)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	0.10203284	0.02550821	145.72	<.0001
Error	10	0.00175052	0.00017505		
Total corregido	14	0.10378336			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RENDIMIENTO Media
0.983133	2.702979	0.013231	0.489487

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MUCILAGO	4	0.10203284	0.02550821	145.72	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	10
Error de cuadrado medio	0.000175
Valor crítico del rango estudentizado	4.65425
Diferencia significativa mínima	0.0356

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	MUCILAGO
A	0.61183	3	4
B	0.52490	3	1
B			
B	0.51530	3	5
C	0.40937	3	3
C			
C	0.38603	3	2

Anexo 6. Análisis de varianza de la variable respuesta Luminosidad, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	2974.592228	594.918446	2928.47	<.0001
Error	12	2.437800	0.203150		
Total corregido	17	2977.030028			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Luminosidad Media
0.999181	0.729631	0.450722	61.77389

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Variedad	5	2974.592228	594.918446	2928.47	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Luminosidad

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	0.20315
Valor crítico del rango estudentizado	4.75020
Diferencia significativa mínima	1.2361

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	90.1700	3	4
B	59.9267	3	6
C	56.3833	3	1
C	56.2000	3	5
D	54.3100	3	2
D	53.6533	3	3

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable respuesta ángulo de tono, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	201.2540753	40.2508151	211.10	<.0001
Error	12	2.2880901	0.1906742		
Total corregido	17	203.5421654			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	angulo Media
0.988759	0.517850	0.436663	84.32222

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MUCILAGO	5	201.2540753	40.2508151	211.10	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para angulo

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	0.190674
Valor crítico del rango estudentizado	4.75020
Diferencia significativa mínima	1.1976

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	MUCILAGO
A	88.9426	3	6
B	87.5398	3	4
C	84.5344	3	1
C			
C	83.9467	3	5
D	82.1801	3	3
E	78.7897	3	2

Anexo 8. Análisis de varianza de la variable respuesta Índice de saturación, en mucilago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	20.82659158	4.16531832	75.87	<.0001
Error	12	0.65882602	0.05490217		
Total corregido	17	21.48541760			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	SATURACION Media
0.969336	4.323346	0.234312	5.419694

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MUCILAGO	5	20.82659158	4.16531832	75.87	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para SATURACION

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	0.054902
Valor crítico del rango estudentizado	4.75020
Diferencia significativa mínima	0.6426

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	MUCILAGO
A	7.5237	3	4
B	5.7736	3	3
B			
B	5.5863	3	2
C	4.6546	3	1
C			
C	4.6459	3	5
C			
C	4.3341	3	6

Anexo 9. Análisis de varianza de la variable respuesta pH, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	1.44182778	0.28836556	32.52	<.0001
Error	12	0.10640000	0.00886667		
Total corregido	17	1.54822778			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PH Media
0.931276	1.616840	0.094163	5.823889

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MUCILAGO	5	1.44182778	0.28836556	32.52	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	0.008867
Valor crítico del rango estudentizado	4.75020
Diferencia significativa mínima	0.2582

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	MUCILAGO

	A	6.37667	3	6
	B	5.90667	3	2
	B			
C	B	5.81667	3	3
C	B			
C	B	5.75333	3	4
C				
C	D	5.60667	3	5
	D			
	D	5.48333	3	1

Anexo 10. Análisis de varianza de la variable respuesta humedad, en mucílago de nopal y almidón modificado, de un Diseño completamente al Azar (DCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	4.65202266	0.93040453	2.93	0.0589
Error	12	3.80815757	0.31734646		
Total corregido	17	8.46018022			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	humedad Media
0.549873	24.81367	0.563335	2.270261

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Variedad	5	4.65202266	0.93040453	2.93	0.0589

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para humedad

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	12
Error de cuadrado medio	0.317346
Valor crítico del rango estudentizado	4.75020
Diferencia significativa mínima	1.545

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	3.3598	3	6
A			
A	2.3647	3	4
A			
A	2.0134	3	1
A			
A	1.9984	3	2
A			
A	1.9433	3	3

A			
A	1.9419	3	5

Anexo 11. Análisis de Varianza para la variable respuesta viscosidad en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5 (2 concentraciones x 5 espesantes).

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	4	0.0120608	0.0120608	0.0030152	6.32	0.001
Concentración	2	0.0016927	0.0016927	0.0008464	1.77	0.187
Mucilago*Concentración	8	0.0076583	0.0076583	0.0009573	2.01	0.080
Error	30	0.0143215	0.0143215	0.0004774		
Total	44	0.0357333				

S = 0.0218491 R-cuad. = 59.92% R-cuad. (ajustado) = 41.22%

Información de agrupación utilizando el método de Bonferroni y una confianza de 99.9%

Mucilago	N	Media	Agrupación
4	9	0.3	A
3	9	0.3	A
1	9	0.3	A
5	9	0.3	A
2	9	0.3	A

Concentración	N	Media	Agrupación
2	15	0.3	A
3	15	0.3	A
1	15	0.3	A

Mucilago	Concentración	N	Media	Agrupación
4	3	3	0.3	A
4	2	3	0.3	A
3	2	3	0.3	A
3	1	3	0.3	A
1	2	3	0.3	A
1	3	3	0.3	A
4	1	3	0.3	A
2	2	3	0.3	A
3	3	3	0.3	A
2	1	3	0.3	A
5	1	3	0.3	A
1	1	3	0.3	A
5	3	3	0.3	A
5	2	3	0.3	A
2	3	3	0.3	A

Anexo 12. Análisis de Varianza para la variable respuesta sólidos solubles en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.

Análisis de varianza para sólidos solubles, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
--------	----	---------	-----------	-----------	---	---

mucilago	4	0.51244	0.51244	0.12811	2.41	0.071
concentración	2	0.21378	0.21378	0.10689	2.01	0.151
mucilago*concentración	8	0.79289	0.79289	0.09911	1.87	0.103
Error	30	1.59333	1.59333	0.05311		
Total	44	3.11244				

S = 0.230458 R-cuad. = 48.81% R-cuad.(ajustado) = 24.92%

Observaciones inusuales de sólidos solubles

Obs	sólidos solubles	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
26	12.8000	12.3000	0.1331	0.5000	2.66 R
41	12.2000	12.6667	0.1331	-0.4667	-2.48 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	concentración	N	Media	Agrupación
3	2	3	13.0	A
2	1	3	13.0	A B
3	3	3	12.9	A B
4	3	3	12.9	A B
5	2	3	12.9	A B
1	3	3	12.8	A B
2	3	3	12.8	A B
5	3	3	12.8	A B
3	1	3	12.8	A B
1	2	3	12.8	A B
2	2	3	12.7	A B
1	1	3	12.7	A B
5	1	3	12.5	A B
4	1	3	12.5	A B
4	2	3	12.3	B

Anexo 13. Análisis de Varianza para la variable respuesta pH en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.

Análisis de varianza para pH, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
mucilago	4	0.085009	0.085009	0.021252	3.86	0.012
concentración	2	0.073204	0.073204	0.036602	6.64	0.004
mucilago*concentración	8	0.042884	0.042884	0.005361	0.97	0.476
Error	30	0.165333	0.165333	0.005511		
Total	44	0.366431				

S = 0.0742369 R-cuad. = 54.88% R-cuad.(ajustado) = 33.82%

Observaciones inusuales de pH

Obs	pH	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
29	3.54000	3.70667	0.04286	-0.16667	-2.75 R

39	3.84000	3.70667	0.04286	0.13333	2.20	R
40	3.62000	3.75667	0.04286	-0.13667	-2.25	R
42	3.94000	3.75667	0.04286	0.18333	3.02	R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	concentración	N	Media	Agrupación
3	3	3	3.9	A
1	3	3	3.9	A B
4	3	3	3.9	A B
3	2	3	3.9	A B
5	2	3	3.9	A B
2	3	3	3.9	A B
1	2	3	3.9	A B
5	1	3	3.8	A B
3	1	3	3.8	A B
5	3	3	3.8	A B
1	1	3	3.8	A B
2	2	3	3.8	A B
4	2	3	3.7	A B
4	1	3	3.7	A B
2	1	3	3.7	B

Anexo 14. Análisis de Varianza para la variable respuesta luminosidad en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
mucilago	4	1.11042	1.11042	0.27761	2.94	0.036
concentración	2	0.70019	0.70019	0.35010	3.71	0.036
mucilago*concentración	8	0.48050	0.48050	0.06006	0.64	0.741
Error	30	2.82933	2.82933	0.09431		
Total	44	5.12044				

S = 0.307101 R-cuad. = 44.74% R-cuad.(ajustado) = 18.96%

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

concentración	N	Media	Agrupación
1	15	29.2	A
2	15	28.9	A
3	15	28.9	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	concentración	N	Media	Agrupación	
T7	3	1	3	29.3	A
T11	4	2	3	29.3	A
T4	2	1	3	29.3	A
T10	4	1	3	29.3	A
T12	4	3	3	29.2	A
T2	1	2	3	29.2	A
T1	1	1	3	29.2	A

T6	2	3	3	29.0	A
T13	5	1	3	29.0	A
T3	1	3	3	28.9	A
T9	3	3	3	28.8	A
T5	2	2	3	28.8	A
T8	3	2	3	28.7	A
T15	5	3	3	28.7	A
T14	5	2	3	28.6	A

Anexo 15. Análisis de Varianza para la variable respuesta ángulo de tono en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
mucilago	4	5.38854	5.38854	1.34714	13.87	0.000
concentración	2	0.99062	0.99062	0.49531	5.10	0.012
mucilago*concentración	8	0.81640	0.81640	0.10205	1.05	0.422
Error	30	2.91327	2.91327	0.09711		
Total	44	10.10883				

S = 0.311623 R-cuad. = 71.18% R-cuad.(ajustado) = 57.73%

Observaciones inusuales de ángulo de tono

Obs	ángulo de tono	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
14	64.8500	64.2500	0.1799	0.6000	2.36 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	N	Media	Agrupación
3	9	64.3	A
4	9	64.3	A
2	9	64.0	A B
5	9	63.8	B
1	9	63.4	C

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	concentración	N	Media	Agrupación
4	2	3	64.6	A
3	3	3	64.6	A
3	2	3	64.4	A B
2	3	3	64.3	A B C
4	3	3	64.2	A B C
4	1	3	64.1	A B C
5	2	3	64.0	A B C D
3	1	3	64.0	A B C D
2	2	3	63.9	A B C D
5	1	3	63.8	A B C D
2	1	3	63.7	A B C D
5	3	3	63.7	A B C D
1	3	3	63.5	B C D
1	2	3	63.4	C D
1	1	3	63.1	D

Anexo 16. Análisis de Varianza para la variable respuesta índice de saturación en Néctar de mango de un modelo factorial 2 x 5.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
mucilago	4	0.99241	0.99241	0.24810	6.55	0.001
concentración	2	0.76076	0.76076	0.38038	10.04	0.000
mucilago*concentración	8	0.55912	0.55912	0.06989	1.84	0.108
Error	30	1.13713	1.13713	0.03790		
Total	44	3.44943				

S = 0.194691 R-cuad. = 67.03% R-cuad.(ajustado) = 51.65%

Observaciones inusuales de saturación

Obs	saturación	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
34	19.0000	18.6133	0.1124	0.3867	2.43 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

mucilago	concentración	N	Media	Agrupación
3	1	3	18.6	A
2	1	3	18.6	A B
4	3	3	18.5	A B
4	1	3	18.4	A B
4	2	3	18.3	A B C
1	3	3	18.2	A B C
2	3	3	18.2	A B C
1	2	3	18.2	A B C
5	1	3	18.2	A B C
1	1	3	18.2	A B C
2	2	3	18.1	A B C
3	2	3	18.1	A B C
3	3	3	18.0	B C
5	2	3	17.9	C
5	3	3	17.8	C

Anexo 17. Análisis de Varianza para la variable respuesta Viscosidad en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.

Análisis de varianza para Viscosidad, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	5	31.0120	31.0120	6.2024	13.68	0.000
Concentración	1	13.3944	13.3944	13.3944	29.55	0.000
Mucilago*Concentración	5	6.3617	6.3617	1.2723	2.81	0.039
Error	24	10.8789	10.8789	0.4533		
Total	35	61.6469				

S = 0.673266 R-cuad. = 82.35% R-cuad.(ajustado) = 74.26%

Observaciones inusuales de Viscosidad

Obs	Viscosidad	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
3	3.89000	5.35000	0.38871	-1.46000	-2.66 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Información de agrupación utilizando el método de Bonferroni y una confianza de 99.9%

Mucilago	N	Media	Agrupación
6	6	4.8	A
3	6	4.6	A B
5	6	3.5	A B C
4	6	3.3	A B C
2	6	2.8	B C
1	6	2.2	C

Concentración	N	Media	Agrupación
2	18	4.1	A
1	18	2.9	B

Mucilago	Concentración	N	Media	Agrupación
3	2	3	6.0	A
6	2	3	5.4	A B
6	1	3	4.3	A B C
4	2	3	4.0	A B C
5	2	3	3.8	A B C
5	1	3	3.2	A B C
3	1	3	3.1	A B C
2	2	3	3.0	B C
1	2	3	2.7	B C
2	1	3	2.7	B C
4	1	3	2.6	B C
1	1	3	1.6	C

Anexo 18. Análisis de Varianza para la variable respuesta pH en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	5	0.198581	0.198581	0.039716	6.25	0.001
Concentración	1	0.000803	0.000803	0.000803	0.13	0.725
Mucilago*Concentración	5	0.064847	0.064847	0.012969	2.04	0.109
Error	24	0.152467	0.152467	0.006353		
Total	35	0.416697				

S = 0.0797043 R-cuad. = 63.41% R-cuad. (ajustado) = 46.64%

Observaciones inusuales de pH

EE de Residuo

Obs	pH	Ajuste	ajuste	Residuo	estándar
3	6.20000	6.03333	0.04602	0.16667	2.56 R
23	5.89000	6.03333	0.04602	-0.14333	-2.20 R
28	6.19000	6.32333	0.04602	-0.13333	-2.05 R
32	6.49000	6.32333	0.04602	0.16667	2.56 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

Mucilago	Concentración	N	Media	Agrupación
2	2	3	6.3	A
4	2	3	6.3	A B
1	1	3	6.2	A B C
4	1	3	6.2	A B C
3	1	3	6.2	A B C
2	1	3	6.2	A B C
1	2	3	6.2	A B C
5	2	3	6.1	A B C
5	1	3	6.1	A B C
3	2	3	6.1	B C
6	2	3	6.0	C
6	1	3	6.0	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 19. Análisis de Varianza para la variable respuesta luminosidad en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.

Análisis de varianza para Luminosidad, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	5	5.7050	5.7050	1.1410	10.71	0.000
Concentración	1	1.1917	1.1917	1.1917	11.18	0.003
Mucilago*Concentración	5	0.3754	0.3754	0.0751	0.70	0.626
Error	24	2.5577	2.5577	0.1066		
Total	35	9.8299				

S = 0.326454 R-cuad. = 73.98% R-cuad.(ajustado) = 62.05%

Observaciones inusuales de Luminosidad

Obs	Luminosidad	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estandar
31	45.3400	46.1500	0.1885	-0.8100	-3.04 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

Mucilago	Concentración	N	Media	Agrupación
2	1	3	47.8	A
4	1	3	47.7	A
3	1	3	47.7	A
1	1	3	47.5	A B
2	2	3	47.4	A B
1	2	3	47.3	A B
4	2	3	47.2	A B
5	2	3	47.2	A B

5	1	3	47.2	A B
3	2	3	47.0	A B C
6	1	3	46.6	B C
6	2	3	46.2	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 20. Análisis de Varianza para la variable respuesta ángulo de tono en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	5	4.47936	4.47936	0.89587	9.08	0.000
Concentración	1	0.43312	0.43312	0.43312	4.39	0.047
Mucilago*Concentración	5	0.29996	0.29996	0.05999	0.61	0.695
Error	24	2.36887	2.36887	0.09870		
Total	35	7.58131				

S = 0.314170 R-cuad. = 68.75% R-cuad.(ajustado) = 54.43%

Observaciones inusuales de Ángulo de tono

Obs	Ángulo de tono	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estandar
5	78.9700	78.4260	0.1814	0.5440	2.12 R
15	79.8540	79.1097	0.1814	0.7443	2.90 R
22	78.4250	79.1097	0.1814	-0.6847	-2.67 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

Mucilago	Concentración	N	Media	Agrupación
6	1	3	79.5	A
6	2	3	79.4	A B
2	1	3	79.1	A B C
2	2	3	78.8	A B C
3	1	3	78.8	A B C
4	1	3	78.7	A B C
5	2	3	78.6	B C
1	1	3	78.5	B C
5	1	3	78.5	B C
1	2	3	78.4	C
4	2	3	78.4	C
3	2	3	78.3	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 21. Análisis de Varianza para la variable respuesta índice de saturación en crema de elote de un modelo factorial incompleto 2 x 6.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Mucilago	5	2.1304	2.1304	0.4261	3.61	0.014
Concentración	1	0.1435	0.1435	0.1435	1.21	0.281
Mucilago*Concentración	5	0.6805	0.6805	0.1361	1.15	0.361
Error	24	2.8349	2.8349	0.1181		

Total 35 5.7893

S = 0.343686 R-cuad. = 51.03% R-cuad. (ajustado) = 28.59%

Observaciones inusuales de Saturación

Obs	Saturación	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
5	17.2740	18.0863	0.1984	-0.8123	-2.89 R
28	19.0530	18.0863	0.1984	0.9667	3.44 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Método de Tukey y una confianza de 99.9%

Mucílago	Concentración	N	Media	Agrupación
4	1	3	18.5	A
4	2	3	18.3	A B
1	2	3	18.3	A B
1	1	3	18.3	A B
5	1	3	18.2	A B
3	2	3	18.1	A B
5	2	3	18.1	A B
6	2	3	18.1	A B
2	1	3	17.8	A B
2	2	3	17.8	A B
3	1	3	17.8	A B
6	1	3	17.5	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 22. Análisis de Varianza y comparación de medias para la aceptabilidad global de un diseño en bloques completamente al azar (DBCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	104	891.613333	8.573205	4.22	<.0001
Error	495	1005.180000	2.030667		
Total corregido	599	1896.793333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	magnitud Media
0.470064	25.01489	1.425015	5.696667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
panelista	99	800.460000	8.0854545	3.98	<.0001
crema	5	91.1533333	18.2306667	8.98	<.0001

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	495
Error de cuadrado medio	2.030667
Valor crítico del rango estudentizado	4.04595

Diferencia significativa mínima	0.5766
---------------------------------	--------

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.				
Tukey Agrupamiento	Media	N	crema	
	A	6.4100	100	A
	A			
B	A	5.8600	100	F
B				
B	C	5.7100	100	E
B	C			
B	C	5.6500	100	C
B	C			
B	C	5.3700	100	D
	C			
	C	5.1800	100	B

Anexo 23. Análisis de varianza para aceptabilidad por viscosidad de un diseño en bloques completamente al azar (DBCA).

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	104	997.553333	9.591859	4.55	<.0001
Error	495	1042.845000	2.106758		
Total corregido	599	2040.398333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	magnitud Media
0.488901	26.14471	1.451467	5.551667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
panelista	99	917.5650000	9.2683333	4.40	<.0001
crema	5	79.9883333	15.9976667	7.59	<.0001

Prueba de Tukey

Alpha	0.05
Grados de error de libertad	495
Error de cuadrado medio	2.106758
Valor crítico del rango estudentizado	4.04595
Diferencia significativa mínima	0.5873

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.				
Tukey Agrupamiento	Media	N	crema	
A	5.9500	100	F	
A	5.8400	100	A	
A	5.6900	100	E	
A	5.5800	100	C	
A	5.4200	100	D	
B	4.8300	100	B	

Anexo 24. Gráficos de porcentaje para niveles JAR sin colapsar y colapsados
T12 (Crema con espesante de almidón modificado)

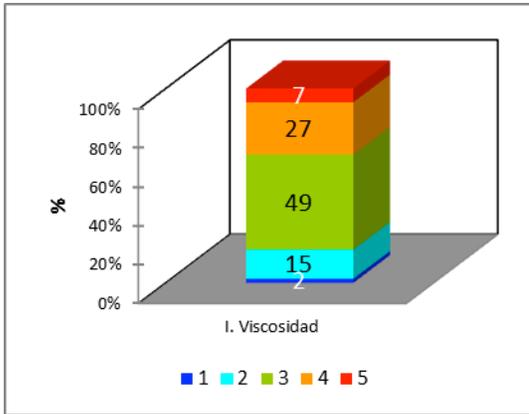


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

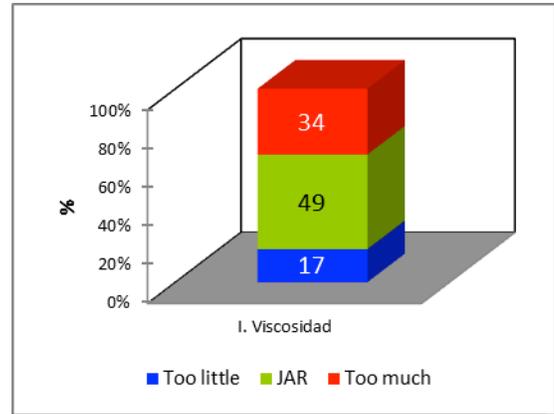


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

T6 (Crema con espesante de mucílago de nopal variedad Atlixco)

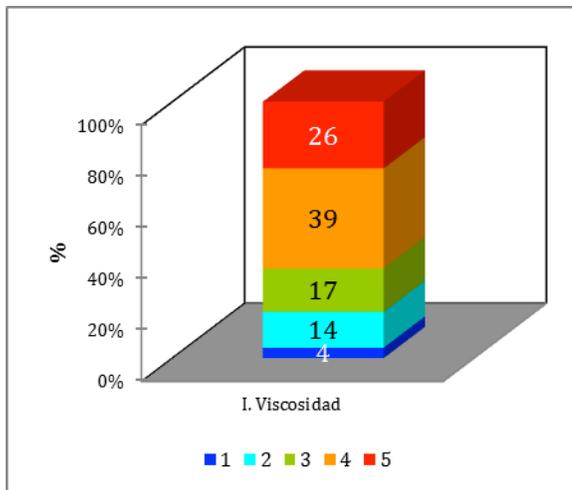


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

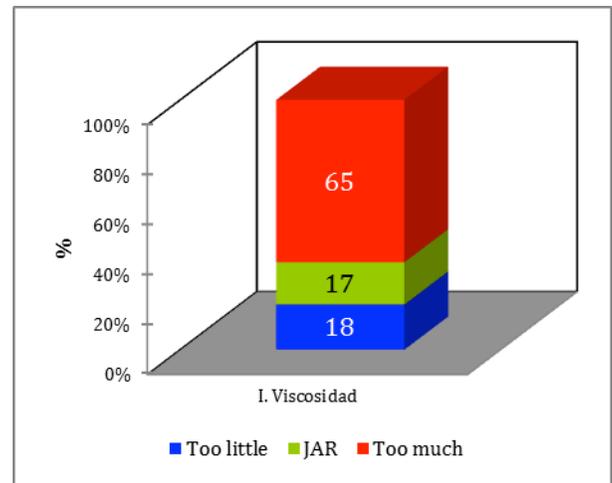


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

T2 (Crema con espesante de mucílago de nopal variedad Tovarito)

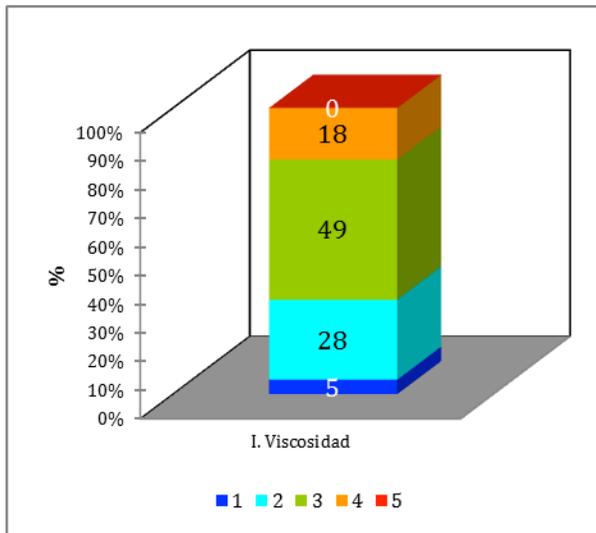


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

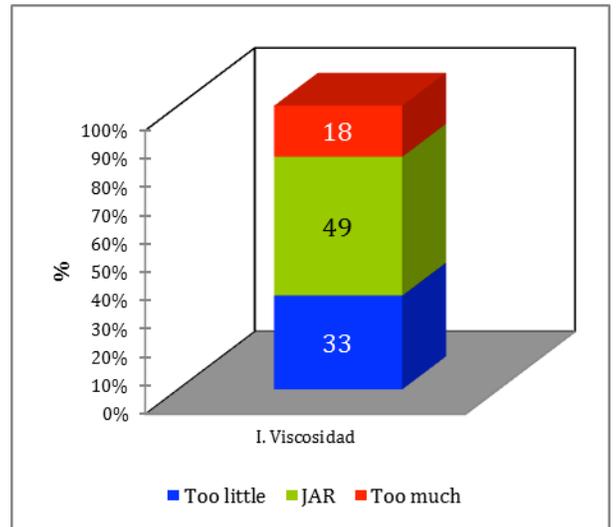


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

T8 (Crema con espesante de mucílago de nopal variedad Toluca)

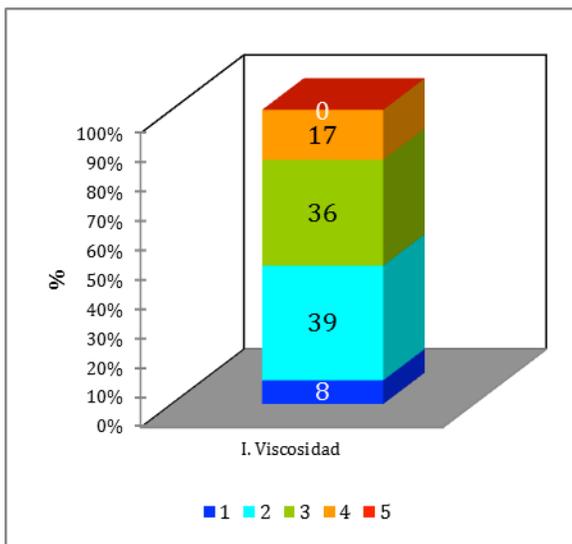


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

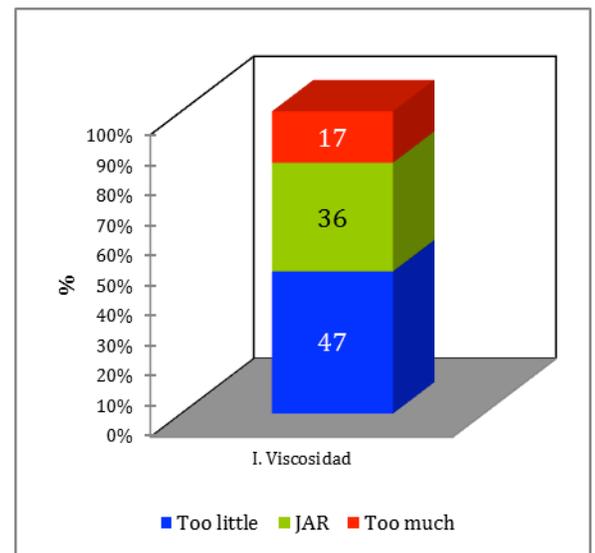


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

T10 (Crema con espesante de mucílago de nopal variedad Tuna Blanca)

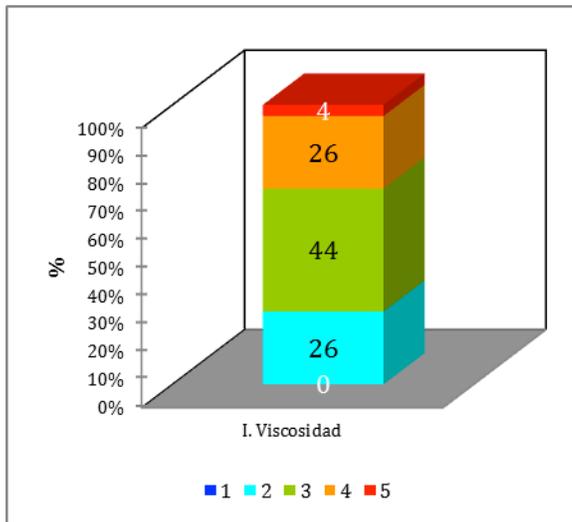


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

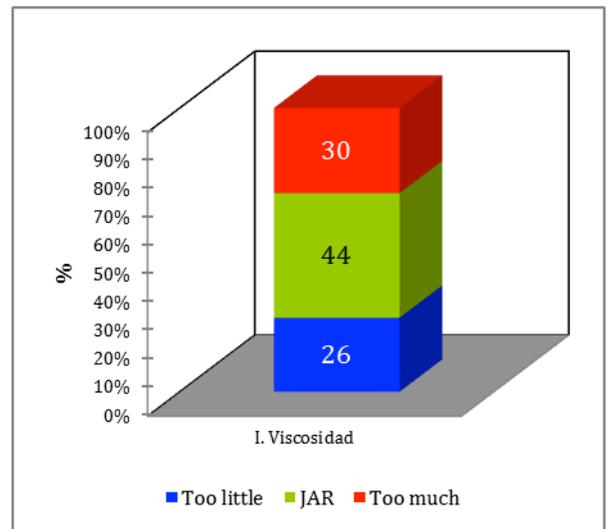


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

T4 (Crema con espesante de mucílago de nopal variedad Milpa Alta)

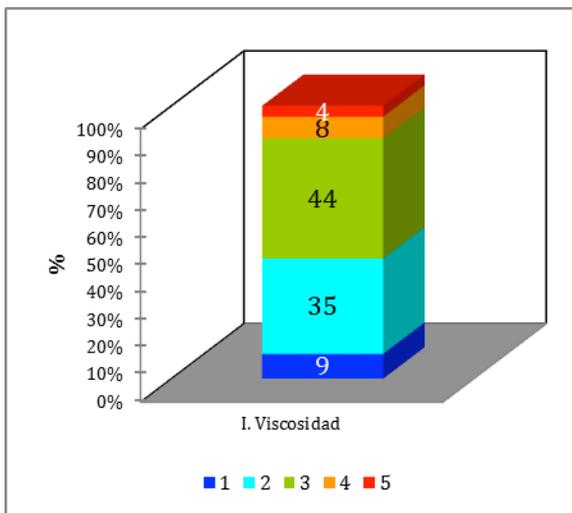


Gráfico de porcentajes de niveles JAR sin colapsar

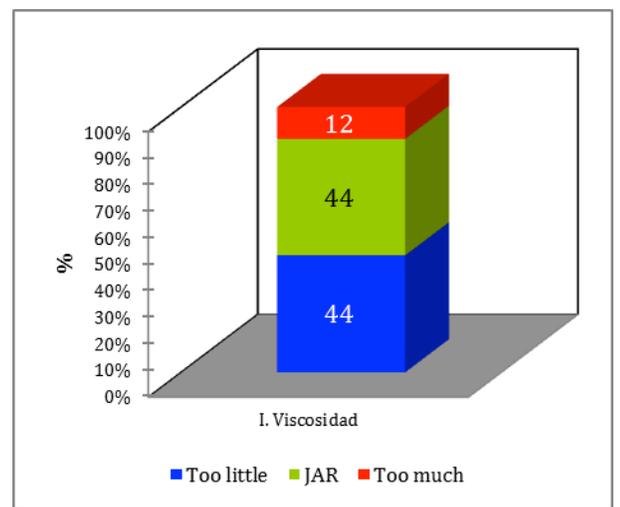


Gráfico de porcentajes de niveles JAR colapsados

Anexo 25. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 4 considerando como límite de penalidad 20% y 50% de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	44	44.00%	236.000	5.3636	1.0909	3.1986	0.0019	Yes				
I. Viscosidad	ADECUADO	44	44.00%	284.000	6.4545					1.0617	3.0749	0.0027	Yes
	EXCESIVO	12	12.00%	66.000	5.5000	0.9545							

50 % consumidores

Variabl e	Level	Frecuen cias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standar dized differen ce	p-value	Signific ant	Penaltie s	Standar dized differen ce	p-value	Signific ant
	INSUFICIENTE	44	44.00%	236.000	5.3636	1.0909							
I. Viscosidad	ADECUADO	44	44.00%	284.000	6.4545					1.0617	3.0749	0.0027	Yes
	EXCESIVO	12	12.00%	66.0000	5.5000	0.9545							

Anexo 26. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 10 considerando como límite de penalidad 20 % y 50 %de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	26	26%	132.000	5.0769	1.1958	3.2186	0.0050	Yes				
I. Viscosidad	ADECUADO	44	44%	276.000	6.2727					1.0049	2.6294	0.0099	Yes
	EXCESIVO	30	30%	163.000	5.4333	0.8394	2.1103	0.0930	No				

50% de los consumidores.

Variabl e	Level	Frecuen cias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standar dized differen ce	p-value	Signific ant	Penaltie s	Standar dized differen ce	p-value	Signific ant
	INSUFICIENTE	26	26.00%	132.000	5.0769	1.1958							
I. Viscosidad	ADECUADO	44	44.00%	276.000	6.2727					1.0049	2.6294	0.0099	Yes
	EXCESIVO	30	30.00%	163.000	5.4333	0.8394							

Anexo 27. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 12 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
----------	-------	-------------	---	----------------	-----------------	------------	-------------------------	---------	-------------	-----------	-------------------------	---------	-------------

				l))								
	INSUFICIENTE	17	17.0%	97.0	5.7059	1.0900							
I. Viscosidad	ADECUADO	49	49.0%	333.0	6.7959					0.7567	2.4451	0.0163	Yes
	EXCESIVO	34	34.0%	211.0	6.2059	0.5900	1.9621	0.0526	No				

50% de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	17	17.00%	97.0000	5.7059	1.0900							
I. Viscosidad	ADECUADO	49	49.00%	333.0000	6.7959					0.7567	2.4451	0.0163	Yes
	EXCESIVO	34	34.00%	211.0000	6.2059	0.5900							

Anexo 28. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 6 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	18	18.00%	77.0000	4.2778	1.4281							
I. Viscosidad	ADECUADO	17	17.00%	97.0000	5.7059					0.6336	1.3919	0.1671	No
	EXCESIVO	65	65.00%	344.0000	5.2923	0.4136	1.0370	0.3023	No				

50% de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	18	18.00%	77.0000	4.2778	1.4281							
I. Viscosidad	ADECUADO	17	17.00%	97.0000	5.7059					0.6336	1.3919	0.1671	No
	EXCESIVO	65	65.00%	344.0000	5.2923	0.4136	1.0370	0.3023	No				

Anexo 29. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 2 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	33	33.00%	185.0000	5.6061	0.1899	0.5560	0.5795	No				
I. Viscosidad	ADECUADO	49	49.00%	284.0000	5.7959					0.2861	0.8551	0.3946	No
	EXCESIVO	18	18.00%	96.0000	5.3333	0.4626							

50% de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
----------	-------	-------------	---	----------------	-----------------	------------	-------------------------	---------	-------------	-----------	-------------------------	---------	-------------

					Global)		diferen ce				diferen ce		
	INSUFICIENTE	33	33.00%	185.0000	5.6061	0.1899							
I. Viscosidad	ADECUADO	49	49.00%	284.0000	5.7959					0.2861	0.8551	0.3946	No
	EXCESIVO	18	18.00%	96.0000	5.3333	0.4626							

Anexo 30. Tabla de penalidad de medias para el tratamiento 8 considerando como límite de penalidad 20% y 50 % de los consumidores.

Variable	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	47	47.00%	250.0000	5.3191	0.4309	1.1557	0.2506	No				
I. Viscosidad	ADECUADO	36	36.00%	207.0000	5.7500					0.5938	1.5730	0.1190	No
	EXCESIVO	17	17.00%	80.0000	4.7059	1.0441							

50% de los consumidores.

Variabl e	Level	Frecuencias	%	Sum(A. Global)	Mean(A. Global)	Mean drops	Standardized difference	p-value	Significant	Penalties	Standardized difference	p-value	Significant
	INSUFICIENTE	47	47.00%	250.0000	5.3191	0.4309							
I. Viscosidad	ADECUADO	36	36.00%	207.0000	5.7500					0.5938	1.5730	0.1190	No
	EXCESIVO	17	17.00%	80.0000	4.7059	1.0441							