



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

**“MEJORAMIENTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL
Opuntia ficus indica Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES DE VISCOSIDAD”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTADO POR:

p.Q.F.B. JORGE LUIS ORNELAS NÚÑEZ

ASESOR DE TESIS:

D.C. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES

MORELIA, MICHOÁCAN

ENERO, 2011.

AGRADECIMIENTOS

Antes que a nadie, agradezco a Dios por darme vida para alcanzar una meta más y darme todo lo que tengo.

Agradezco a mi familia, a mis padres Jorge y María del Carmen, a mis hermanas Irma, Aideé e Itzel, por darme su apoyo desde un principio, al igual que su amor, cariño, confianza, consejos y demás a lo largo de mi carrera.

Muchas gracias al Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores, mi asesor de tesis, por darme esta oportunidad, por tener confianza en mí, darme consejos, apoyo, dedicación, tiempo, paciencia y comprensión.

A mi las Familias Núñez y Ornelas, en especial a mis tías Amparo y Minerva, gracias por su apoyo, consejos y cariño.

A mis amigos y compañeros de la carrera: Selene, Viry, Sarahi, Samy, Briza Diego y Simon, por apoyarme en todo momento en mis decisiones, por sus consejos, su cariño, su tiempo, por estar conmigo en las buenas pero más en las malas, por su tiempo y la amistad tan grande y especial que me han regalado, muchas gracias.

Gracias a Vania, Mireya y Ramón por sus consejos, su tiempo, su apoyo y la paciencia que me brindaron.

Gracias a Marijo y Ale por todo su apoyo, amistad, consejos y su cariño, que me han regalado.

A los profesores y doctores en mi orientación de alimentos por todos sus consejos, por su enseñanza, y dedicación, mil gracias.

A BECANET por su apoyo en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.		. i
Índice de contenidos.		. ii
Índice de Tablas.		. iv
Índice de Figuras.		. v
I. Resumen.		. 1
II. Introducción.		. 2
III. Antecedentes.		. 4
3.0. Origen y taxonomía del nopal.		. 4
3.1. Distribución.		. 5
3.2. Características de la planta de nopal.		. 6
3.3. Composición química.		. 7
3.4. Propiedades funcionales y medicinales del nopal.		. 9
3.4.1. Usos del nopal.		. 13
3.5. Mucílago del nopal.		. 14
3.5.1. Estructura química del mucílago.		. 14
3.5.2. Composición química del mucílago.		. 17
3.5.3. Propiedades y usos del mucílago.		. 18
3.6. Extracción del mucílago.		. 20
3.7. Rendimientos del proceso de extracción del mucílago.		. 21
3.8. Reología de los alimentos.		. 22
3.8.1. Viscosidad.		. 22
IV. Justificación.		. 24
V. Hipótesis.		. 24
VI. Objetivos.		. 24
6.0. Objetivo general.		. 24
6.1. Objetivos específicos.		. 24
VII. Materiales y métodos.		. 25
7.0. Materia prima.		. 25
7.1. Material y equipo.		. 25
7.2. Metodología para la extracción del mucílago.		. 25
7.3. Relación agua:nopal.		. 26
7.4. Relación de etanol para la precipitación del mucílago.		. 27

7.5. Determinación del tiempo de calentamiento.	. 28
7.6. Pruebas de pH.	. 28
7.7. Método optimizado en la extracción del mucílago de nopal.	. 33
7.7.1. Desarrollo de la metodología optimizada.	. 34
7.8. Análisis bromatológico del mucílago de nopal en polvo.	. 37
7.8.1. Determinaciones de humedad, cenizas, carbohidratos totales, extracto etéreo y proteínas.	. 37
7.8.2. Determinación de fibra dietética.	. 37
7.8.3. Determinación de pectina.	. 39
7.8.4. Viscosidad del mucílago de nopal.	. 40
VIII. Resultados.	. 40
8.0. Rendimientos de la relación de agua:nopal.	. 40
8.1. Rendimientos de la relación etanol:nopal.	. 41
8.2. Tiempo de calentamiento.	. 42
8.3. Rendimiento de acuerdo al pH.	. 43
8.4. Rendimientos de las extracciones de mucílago en lotes grandes.	. 45
8.4.1. 1 ^{ra} extracción.	. 45
8.4.2. 2 ^{da} extracción.	. 45
8.5. Análisis bromatológico del mucílago de nopal.	. 45
8.6. Resultados de la viscosidad del mucílago de nopal.	. 46
8.7. Resultados del análisis estadístico.	. 57
IX. Conclusiones.	. 58
X. Bibliografía.	. 59
XI. Anexos.	. 64
11.0. Anexo A.	. 64
11.1. Anexo B.	. 65
11.2. Anexo C.	. 65
11.3. Anexo D.	. 66
11.4. Anexo E.	. 67
11.5. Anexo F.	. 67
11.6. Anexo G.	. 67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal.	. 5
Tabla 2. Composición química en 100 g de nopal fresco.	. 7
Tabla 3. Análisis bromatológico en 100 g de nopal fresco.	. 8
Tabla 4. Contenido de aminoácidos (%) de nopal en fresco.	. 8
Tabla 5. Análisis bromatológico de nopal en polvo.	. 8
Tabla 6. Composición química de pulpa de tunas (parte comestible).	. 9
Tabla 7. Composición química del mucílago en diferentes procesos de extracción.	. 17
Tabla 8. Cantidad de minerales en el mucílago.	. 18
Tabla 9. Valores medios y desviación estándar de pectina total y sus fracciones, caracterizadas en tres mucílagos (g/g s.s.).	. 18
Tabla 10. Resultados del rendimiento de la relación nopal:agua.	. 41
Tabla 11. Rendimiento por tiempo de calentamiento.	. 43
Tabla 12. Rendimiento de las pruebas de acuerdo al pH.	. 44
Tabla 13. Análisis bromatológico del mucílago de nopal en polvo.	. 46
Tabla 14. Resultado de la viscosidad a 100 rpm del mucílago al 0.3% después de 15 y 30 min, respectivamente, de haberse preparado la solución.	. 47
Tabla 15. Resultado de la viscosidad a 100 rpm del mucílago al 0.5% después de 10 min de haberse preparado la solución.	. 49
Tabla 16. Resultado de la viscosidad a 100 y 50 rpm del mucílago al 1% después 10 min de haberse preparado la solución.	. 51
Tabla 17. Resultado de la viscosidad a 20, 50 y 100 rpm del mucílago al 5% inmediatamente preparada la solución.	. 53
Tabla 18. Resultado de la viscosidad a 4, 5, 10, 20, 50 y 100 rpm del mucílago al 08% inmediatamente preparada la solución	. 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Compuestos del mucílago.		15
Figura 2. Posible estructura del mucílago.		16
Figura 3. Proceso de extracción del mucílago.		20
Figura 4. Gráfica de fluidos Newtonianos y no Newtonianos.		24
Figura 5. Relación nopal:agua.		26
Figura 6. Recipientes con alcohol:mucílago		27
Figura 7. Mucílago precipitado en la relación nopal:agua		27
Figura 8. Mezcla de nopal a diferentes pH.		28
Figura 9. Mezcla de nopal a diferentes pH, después del calentamiento a 82 °C por 1 h.		29
Figura 10. Mezcla de mucílago líquido:agua a diferente pH.		29
Figura 11. Mucílago líquido, pH inicial.		29
Figura 12. Mucílago líquido, pH 4.		29
Figura 13. Mucílago líquido, pH 3.		30
Figura 14. Mucílago líquido, pH 2.		30
Figura 15. Mucílago líquido, pH 1.		30
Figura 16. Mucílago precipitado en etanol, pH inicial.		30
Figura 17. Mucílago precipitado en etanol, pH 4.		31
Figura 18. Mucílago precipitado en etanol, pH 3.		31
Figura 19. Mucílago precipitado en etanol, pH 2.		31
Figura 20. Mucílago precipitado en etanol, pH 1.		31
Figura 21. Precipitado de mucílago a diferente pH, antes de secar		32
Figura 22. Precipitado de mucílago seco a diferente pH		32
Figura 23. Mucílago en polvo a diferente pH		32
Figura 24. Metodología optimizada para la extracción del mucílago.		33
Figura 25. Remoción de piel y espinas de cladodios de nopal, y trozos de nopal 2 cm ² .		34
Figura 26. Molienda de nopal con agua destilada.		34
Figura 27. Calentamiento de la mezcla de nopal y agua destilada a 82 °C ± 2 °C por 1 h.		35
Figura 28. Centrifugación de la mezcla.		35

Figura 29. Concentración en baño María del mucílago existente en el sobrenadante.	. 35
Figura 30. Precipitación del mucílago con etanol.	. 36
Figura 31. Recolección y secado del mucílago.	. 36
Figura 32. Trituración y molienda del mucílago seco.	. 36
Figura 33. Obtención y pesado del mucílago de nopal puro en polvo.	. 37
Figura 34. Gráfica del rendimiento de la relación nopal:agua.	. 41
Figura 35. Gráfica del rendimiento por tiempo de calentamiento.	. 43
Figura 36. Gráfica del rendimiento de acuerdo al pH.	. 44
Figura 37. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 0.3% a una velocidad de 100 rpm.	. 48
Figura 38. Suspensiones de mucílago de nopal al 0.3%.	. 48
Figura 39. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 0.5% en agua destilada, velocidad de 100rpm.	. 50
Figura 40. Suspensiones de mucílago de nopal al 0.5%.	. 50
Figura 41. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 1% en agua destilada, velocidad ascendente de 50 y 100 rpm.	. 52
Figura 42. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 1% en agua destilada, velocidad descendente de 100 y 50 rpm.	. 52
Figura 43. Suspensiones de mucílago de nopal al 1%.	. 53
Figura 44. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 3% en agua destilada, velocidades de 20, 50 y 100 rpm.	. 54
Figura 45. Suspensiones de mucílago de nopal al 3%.	. 54
Figura 46. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 8% en agua destilada, velocidades de 4, 5, 10, 20, 50 y 100 rpm.	. 56
Figura 47. Suspensiones de mucílago de nopal al 8%.	. 56
Figura 48. Análisis estadístico a todas las concentraciones a 100 rpm.	. 68
Figura 49. Análisis estadístico entre las concentraciones de 0.3%, 0.5% y 1% a 100 rpm.	. 69
Figura 50. Análisis estadístico entre las diferentes velocidades a la concentración de 8%.	. 70
Figura 51. Análisis estadístico de las muestras al 1, 3 y 8% a 50 rpm.	. 71
Figura 52. Análisis estadístico de la concentración al 3%.	. 72

I. RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la optimización de un proceso para la extracción de mucílago. Posteriormente, se efectuaron las pruebas bromatológicas en el mucílago en polvo para su caracterización química, finalmente se realizó la caracterización reológica del mucílago, en cuanto a su viscosidad medida en suspensiones conteniendo diferentes concentraciones de mucílago en agua. Las condiciones óptimas en la extracción del mucílago fueron de: i) relación de gramos de nopal:ml de agua de 1:2, ii) el tiempo de calentamiento 1 h a 82 ± 2 °C, iii) una relación de etanol a 96 °G para su precipitación de 1:4 en 48 h a 4°C. Las pruebas de viscosidad se realizaron de la siguiente manera: se hicieron diluciones del mucílago de nopal en agua para lograr concentraciones de 0.3%, 0.5%, 1.0%, 3.0% y 8.0% en 500 ml de agua destilada y se leyeron durante 90 min a intervalos de tiempo de 5 min en cada lectura a diferentes velocidades que variaron de 100 rpm hasta 0.5 rpm. Los resultados indicaron que el mucílago de nopal contenía 56.80% de fibra soluble, 1.03 % de fibra insoluble, 11.91% de minerales, 13% de azúcares totales, 8.03% de humedad, 2.51% de pectina, 6.7% de proteína y 0.03% de extracto etéreo. En cuanto a su viscosidad, las pruebas efectuadas arrojaron los siguientes datos: en la concentración de 0.3% su viscosidad promedio fue de 1.01 cP a 100 rpm, para la concentración de 0.5% su promedio de viscosidad fue de 1.19cP a 100 rpm, en la concentración de 1.0% su promedio fue de 1.42 cP a 100 rpm y de 3.65 cP a 50 rpm, en la concentración de 3.0% su promedio fue de 7.32 cP a 100 rpm, 5.19 cP a 50 rpm y 7.21 cP a 20 rpm, y por último en la concentración de 8.0% su promedio fue de 37.5 cP a 100 rpm, 62.6 cP a 50 rpm, 41.4 cP a 20 rpm, 92.3 cP a 10 rpm, 129.8 cP a 5 rpm y 139.7cP a 4 rpm.

II. INTRODUCCIÓN

Los polisacáridos de las plantas, epifitos y extractos animales son una fuente de aditivos interesantes para diversas industrias, en particular para las industrias farmacéutica y alimentaria. Muchos de estos polisacáridos, como aquellos provenientes de la familia *Cactaceae*, han sido usados empíricamente para *modificar* las propiedades de algunos productos (Cai y col., 2007).

“Nopal” es el nombre común que reciben las cactáceas del genero *Opuntia*. La planta de nopal es oriunda de México y está extendida por casi toda América; representa para los mexicanos, además de un significado histórico y cultural, un gran valor alimenticio por su enorme versatilidad de usos, como fruta, verdura, en la preparación de dulces y bebidas. En nuestro país existen extensas zonas (áridas y semiáridas) donde es posible cultivar dicha cactácea, debido a que se adapta fácilmente a ese tipo de terrenos (Granados y Castañeda, 2000).

México es considerado como un centro de biodiversidad por excelencia para el cultivo de cactáceas (Paredes y col., 2006). El género *Opuntia ficus indica* es la especie más común y cultivada en las distintas partes del planeta (Ruiz y Guerrero, 2009).

Esta especie presenta un porte arborescente, pencas alargadas y grandes (cladodios o artículos) y una gran cantidad de mucílago (Arizmendi y Domínguez-López, 2004), que es una sustancia viscosa y es uno de los compontes más importantes del nopal, el cual forma parte de la fibra dietética (Méndez, 2006).

El mucílago de nopal es un polímero lineal cuyo peso molecular oscila en 13×10^6 g/mol y está compuesto por polisacáridos similares a las pectinas. Su composición glucídica aproximada es de 47% de arabinosa, 23% de xilosa, 18% de galactosa, 7% de ramnosa y 5% de ácido galacturónico, respecto a su peso molecular.

Una de las ventajas del mucílago es la de actuar como barrera ante la oxidación, ya que evita el contacto de las enzimas como la polifenoloxidasas (PPO) con el oxígeno ambiental, por lo que se extiende la vida de anaquel del nopal evitando así su oscurecimiento, perdida de firmeza y mal olor. La manera en la que el nopal comienza a tener cambios de coloración es debido a la

deshidratación y por lo tanto a la pérdida de mucílago en los cladodios del nopal, favoreciéndose el contacto entre la PPO y el oxígeno, dando como resultado un producto de mala calidad (Aguilar y col., 2007).

La alta concentración de mucílago encontrado en algunas especies de nopal, la conformación polimérica y las propiedades reológicas de este compuesto sugieren un alto potencial considerable de estas cactáceas como fuente de aditivos mejoradores de la textura de los alimentos (Arizmendi, Domínguez-López, 2004) como materia prima en la elaboración de películas plásticas comestibles o en la obtención de aditivos mejoradores de la textura en los alimentos (Ruiz y Guerrero, 2009).

El mucílago de nopal contiene un biopolímero especial que tiene la habilidad para modificar las propiedades funcionales como la viscosidad, elasticidad, gelificante, espesante y retención de agua (Orozco y col., 2007).

El objetivo del presente trabajo es estudiar la viscosidad del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como propiedad reológica principal, para su posible utilización como espesante.

III. ANTECEDENTES

3.0 ORIGEN Y TAXONOMIA DEL NOPAL

La planta de nopal ha sido y es un elemento esencial desde los tiempos primitivos, pasando por la fundación de la civilización azteca hasta nuestros días. Los antiguos pobladores denominaban a la planta como *nochtli* o *nopalli* y pertenece al género de los *Opuntia* y *Nopalea*. Aunque es endémica de los continentes americanos, posteriormente llegó a España hacia el sur a partir del siglo XV (<http://www.esquinamagica.com/articulos.php?idar=124&id1=4>).

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical, sin embargo, hoy en día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, de que se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre (Sáenz y col., 2007).

El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de *Opus* en Grecia (Sáenz y col., 2007).

“Nopal” es el nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia*; este género y su familia son originarios de América. Actualmente el nopal se clasifica de la siguiente manera: pertenece a la familia Cactaceae y género *Opuntia*, que se divide en los subgéneros: *A. cylindropuntia*, *C. Corynopus*, *D. Opuntia* y *E. stenopus*, que están clasificados en series; contiene 22 series y 377 especies de las cuales 104, se encuentran silvestres en México y de éstas 60 especies son mexicanas. (Granados y Castañeda, 2000).

Sin embargo, hay sólo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea como alimento, forraje o producto industrial, entre éstas se encuentran, como especies para alimento: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xocostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Y como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*, *O. leucotricha* y *O. robusta*. De todas estas especies la más común y más cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficus indica* (Ruiz y Guerrero, 2009).

El género *Opuntia* comprende plantas bien definidas, que en el caso del nopal pueden ser rastreros o frutescentes cuando tiene ramificado, o arborecente cuando los cladodios viejos toman una forma cilíndrica (Granados y Castañeda, 2000).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal

Reino:	Vegetal
Sub-reino:	<i>Embryophyta</i>
División:	<i>Angioserma</i>
Clase:	<i>Dicotiledoneae</i>
Sub-clase:	<i>Dialipetalas</i>
Orden:	<i>Opuntiales</i>
Familia:	<i>Cactaceae</i>
Tribu:	<i>Opuntiae</i>
Sub-familia:	<i>Opuntioideae</i>
Género :	<i>Opuntia</i>
Sub-género:	<i>Platyopuntia</i>
Especie:	varios nombres

Fuente: Bravo-Hollis (1978).

3.1 DISTRIBUCIÓN

Su distribución en el continente americano se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Estados Unidos de América, México, Perú y Venezuela y varios países de América Central (Abraján Villaseñor, 2008).

Existen 258 especies reconocidas, 100 de las cuales se encuentran en México, que cuenta con una superficie aproximada de 10,000 Ha de plantaciones especializadas en Nopal para consumo humano. Así mismo, el nopal puede ser un cultivo alternativo para zonas que están teniendo problemas por bajos rendimientos debido al empobrecimiento paulatino de los suelos, o en lugares donde hay deficiencia de agua para los cultivos tradicionales (<http://www.esquinamagica.com/articulos.php?idar=124&id1=4>).

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE NOPAL

El nopal es una de las plantas con gran capacidad de adaptación al medio; esta adaptación la efectúa mediante modificaciones morfológicas como hábitos, diferencias en espina, etcétera. Específicamente el género *Opuntia* es una planta xeromorfa que ha desarrollado un mecanismo de resistencia a la sequia con base en el mantenimiento de un alto potencial hídrico, durante los periodos de déficit de precipitación, a través de las siguientes características:

- Mantenimiento de absorción de agua mediante el incremento de la cantidad y la densidad de raíces, y el aumento de la conductancia hidráulica.
- Reducción de la pérdida de agua, mediante la reducción en la conductancia epidermal, en la radiación absorbida y en la superficie evaporativa (Granados y Castañeda, 2000).

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar de 3.5 a 5 m de altura. Es densamente ramificado, rico en raíces finas y absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. Los tallos o cladodios succulentos y articulados, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada de 60-70 cm de longitud, cuando miden 10-12 cm son tiernos y se consumen como verdura. Sobre las dos caras de cladodios se presentan las yemas, llamadas areolas que presentan en su cavidad espinas; aguates y espinas grandes. (Sáenz y col., 2007).

Las características de las plantas que las hacen adaptables al medio árido tienen relación con la conformación de varios de sus órganos. Según Nobel (1998) sus raíces superficiales y extendidas captan el agua de las escasas lluvias que caen en esos ambientes. Las lluvias aisladas, por otra parte, inducen la formación de raíces secundarias que aumentan la superficie de contacto con el suelo lo cual facilita la absorción de agua y nutrientes. Cuando se inicia la sequia, las raíces comienzan a contraerse de manera radial contribuyendo a disminuir la pérdida de agua (Sáenz y col., 2007).

Los cladodios (pencas) transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis, están recubiertos por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de los estomas, mismos que permanecen

cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso.

<http://www.esquinamagica.com/articulos.php?idar=124&id1=4>

3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química del mucilago de nopal varía dependiendo si es en fresco o en polvo, las tablas siguientes (Tablas 2-5) muestran los porcentajes en ambos casos. Como podemos ver lo que más posee el nopal en fresco es agua con un 91.80%, siguiéndole en porcentaje los carbohidratos con un 5.50% y después las cenizas con un 1.58%. En las cenizas sus mayores componentes son el calcio (93 mg) y el hierro (1.60 mg) que se muestran en la Tabla 3. La Tabla 4 expresa el contenido de los diferentes aminoácidos que contiene el nopal. En la Tabla 5 muestra los porcentajes de los componentes del nopal en polvo, teniendo un alto contenido de fibra dietética total (40.00%) y de cenizas (24.07%).

La Tabla 6 muestra los porcentajes de la composición química de la pulpa de diferentes tunas, en 100 g en fresco (Sáenz y col., 2007). El nopal contiene también otros minerales como aluminio, magnesio, potasio, sílice, sodio y manganeso, además de vitamina A, B₁, B₂, y C (Reza y col., 2005).

Tabla 2. Composición química en 100 g de Nopal en Fresco

Determinación	Peso (g)
Agua	91.00
Proteína	0.66
Grasa	0.11
Carbohidratos	5.50
Celulosa	1.15
Cenizas	1.58

Fuente: (Granados y Castañeda, 2000).

Tabla 3. Análisis bromatológico en 100g de peso neto de nopal fresco

Componente	Peso (g o mg)
Porción Comestible	78.00
Energía (Kcal)	27.00
Proteína (gr)	1.70
Grasas (gr)	0.30
Carbohidratos (gr)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.03
Ascórbico (mg)	8.00

Fuente: (Abraján, 2008).

Tabla 4. Contenido de Aminoácidos (%) de nopal húmedo

Aminoácido	Contenido (g/100 g de nopal)
Arginina	0.031
Histidina	0.016
Lisina	0.043
Metionina	0.008
Treonina	0.052

Fuente: (Granados y Castañeda, 2000).

Tabla 5. Análisis Bromatológico de nopal en polvo

Determinación	Peso (g/100 g de nopal)
Humedad	5.63%
Materia seca	94.37%
Ceniza	24.07%
Extracto etéreo	2.04%
Fibra cruda	10.67%
Proteína	7.53%
E.L.N.	50.06%
Fibra dietética total	40.00%

(http://www.esquinamagica.com/articulos.php?idar=124&id1=4).

Tabla 6. Composición química de pulpa de tuna (parte comestible)

Componentes	Tuna verde	Tuna púrpura	Tuna anaranjada
Humedad	83.8	85.98	85.10
Proteína	0.82	0.38	0.82
Grasa	0.09	0.02	-
Fibra	0.23	0.05	-
Cenizas	0.44	0.32	0.26
Azúcares totales	14.06	13.25	14.80
Vitamina C (mg/100 g)	20.33	20.00	24,10
β -caroteno (mg/100 g)	0.53	-	2.28
Betanina (mg/100 g)	-	100	-

Fuente: (Sáenz y col., 2007)

3.4 PROPIEDADES FUNCIONALES Y MEDICINALES DEL NOPAL

Los alimentos funcionales se definen como aquellos que están demostrados suficientemente que actúan beneficiosamente sobre una o más funciones del cuerpo, más allá de sus efectos nutricionales, mejorando la salud y el bienestar y/o reduciendo el riesgo de enfermedad, por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología, como es el caso del nopal (Ferrer y Dalmau, 2001).

Los alimentos funcionales se clasifican en:

Probióticos: Son un suplemento alimentario microbiano vivo que beneficia al huésped animal con una mejoría del equilibrio microbiano intestinal. Pueden no ser solamente organismos vivos, sino que pueden incluir partículas o porciones de microbios inactivados que tengan efectos positivos.

Prebióticos: Sustancias que cuando son ingeridas promueven el crecimiento y establecimiento de los micro-organismos beneficiosos.

Simbióticos o Eubióticos: Es la suma de los probióticos y los prebióticos, que mejoran la supervivencia e implantación de los gérmenes suplementados con la dieta.

(<http://www.avpap.org/documentos/donostia2004/alimentosfuncionales.pdf>).

Tanto la fruta como los cladodios de la tuna representa una fuente diversa de compuestos funcionales, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílago), los pigmentos (betalaínas, carotenoides), los minerales (calcio, potasio) y algunas vitaminas como la C (Abraján, 2008).

El compuesto funcional del nopal más estudiado es la fibra dietética, constituida por diferentes componentes resistentes a las enzimas digestivas, entre ellos la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La fibra dietética considerada como un carbohidrato complejo, puede dividirse en dos grupos principales según sus características y sus efectos en el organismo. Estos dos tipos son: fibra insoluble y fibra soluble. Estos tipos de fibra tienen efectos fisiológicos distintos basados en sus propiedades físico-químicas.

La fibra insoluble, no se disuelve en agua, es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa. Su principal acción en el organismo es aumentar el volumen de las heces, disminuyendo el tiempo de tránsito de los alimentos y las heces a través del tubo digestivo. Como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones ayudando a eliminar el estreñimiento.

La fibra soluble, se disuelve en agua y la conforman los mucílagos, las gomas y las pectinas. Las dietas altas en fibra soluble y bajas en grasa disminuyen los niveles de colesterol sanguíneos. Además, este tipo de fibra y los componentes que contiene puede regular la absorción intestinal de los azúcares procedentes de los alimentos.

(<http://www.copacabanarunners.net/esp-fibra.html>)

Los cladodios, con su alto contenido en fibra, son actualmente una fuente importante de la misma, además de calcio y de mucílago, los tres son componentes necesarios para integrar una dieta saludable; la fibra se obtiene por secado y molienda de los cladodios. Este polvo o harina se destina tanto para la industria de alimentos como para la industria de complementos alimenticios, ligada en cierto modo a la industria farmacéutica. Las tabletas y cápsulas de nopal se encuentran en el mercado mexicano desde hace años y se ofrecen como un modo de controlar la obesidad y la diabetes.

El nopal presenta actividad diurética por lo que ayuda al control de peso e hipertensión. Y actividad antiinflamatoria, el extracto de nopal tiene un efecto protector en las alteraciones de cartílago mayor que el ácido hialurónico,

comúnmente empleado en tratamientos para lesiones de articulaciones. Además protege al hígado contra daños provocados por ingesta de insecticidas organofosforados y a su vez disminuyen el grado de toxicidad de estos Químicos (Abraján, 2008).

Estas son algunas de las propiedades medicinales del nopal:

Propiedades Curativas: Nopal verde (*Opuntia-Indica*) el único tipo comestible ha sido ampliamente recomendado para una mejor circulación de la sangre, enfermedades del corazón y desordenes digestivos (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Cáncer de Colon: Tratamiento para la prevención del cáncer de colon. El nopal contiene fibras alimenticias tanto solubles como insolubles. La fibra alimenticia insoluble en el Nopal absorbe el agua y acelera la comida suavemente por la vía digestiva y colabora en las evacuaciones regulares. Además la presencia de fibras insolubles en el colon ayuda a diluir la concentración de carcinógenos en potencia que pueden estar presentes. Las fibras solubles también contribuyen a la regularidad. Además el Nopal es una alternativa apacible a *Psyllium* para aquellos con una sensibilidad o alergia al *Psyllium*. Lipoproteínas de alta densidad o HDL, conocida como colesterol bueno (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Hiperlipidemia (el nivel de colesterol/alto en grasa): ayuda a reducir el colesterol.

Los ácidos de amonio del nopal, fibra y B₃ (niacina) previenen las conversiones de glucemia excesivas en grasas mientras reducen el colesterol total, los triglicéridos y los niveles de colesterol de LDL metabolizando la grasa y los ácidos grasos y eliminar ácidos de bilis excesivos (el ácido de bilis excesivo es convertido en colesterol al final). Los otros estudios de investigación sobre B₃ (niacina) indican sus efectos de conversión de la LDL (mala) a las formas de HDL (bueno) de colesterol y ayudan a reducir el riesgo de la enfermedad cardíaca (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Arteriosclerosis: Las arterias bloqueadas son prevenidas. Los efectos de los aminoácidos y la fibra, incluyendo el antioxidante de la vitamina C del nopal y A (β -caroteno) previenen la probabilidad del daño de la pared del vaso sanguíneo y la formación de placas con grasa (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Úlceras gástricas / trastornos gastrointestinales: Reduce y elimina los problemas gastrointestinales. Las fibras vegetales del nopal y el mucílago controlan la producción de ácido gástrico excesivo y protege la mucosidad gastrointestinal. El pH del nopal crea una capa protectora que ayuda en la prevención de daños y perjuicios que pudieran ocurrir al ingerir comidas muy condimentadas, aspirina y otros NSA IDs (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

La digestión / y funcionamiento del hígado: Desintoxica y ayuda en la prevención de varias enfermedades. El nopal contiene vitaminas A, B₁, B₂, B₃, C y el mineral: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y fibras tal como lignina, celulosa, hemicelulosas, pectina, mucílago, y goma forman en conjunción con un aminoácido una ayuda para la desintoxicación y el apoyo no solamente del hígado sino también del cuerpo en general (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Obesidad: Rico en Fibra. El aminoácido del nopal, que es esencial y debe ser ingerido como comida, suministra más energía y menos fatiga ayudando al cuerpo para que baje la glucemia (azúcar en la sangre); levanta el sentido del humor, suprime el apetito y provee nutrientes. La formación de grasa es prevenida, mientras que la grasa es convertida y la expulsión de esta es incrementada. Las fibras insolubles como la lignina son conocidas por incrementar la saciedad. La proteína vegetal del nopal ayuda el cuerpo a jalar fluidos de los tejidos nuevamente al flujo de sangre reduciendo así la celulitis y la retención de fluidos. También los 17 aminoácidos de nopal, fibras, vitaminas y minerales establecen la necesidad de una dieta vegetariana (www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Hiperglucemia (niveles altos de glucosa en sangre) muy importante en los pacientes de Diabetes Tipo II. El nopal estabiliza y regula la glucemia incrementando los niveles y la sensibilidad del cuerpo en insulina. Los estudios de investigación han mostrado los efectos de hipoglicémicos hasta un máximo de 4 a 6 h después de la ingestión del Nopal en diabéticos de tipo II y no diabéticos. Los efectos secundarios peligrosos de los niveles de glucemia altos incluyen disturbios de tejido del nervio del ojo, que son auxiliados por el contenido del B-caroteno (Vitaminas A, C y B₁, B₂, B₃) del Nopal.

(www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc).

Sistema urinario: El jugo de nopal se usa con diurético antiinflamatorio y para reducir los dolores en el sistema urinario.

Sistema nervioso: El nopal previene los daños en los nervios y ayuda a alcanzar mejores balances en el estado de ánimo. El Amoníaco, radicales libres y toxinas ambientales como alcohol y el humo de cigarrillo sofocan los sistemas inmunológicos, estos son retirados por el nopal. El Nopal también ayuda a mantener el equilibrio y calmar el sistema nervioso, lo cual beneficia la función del cuerpo en general.

3.4.1 USOS DEL NOPAL

Estos son algunos ejemplos de la variedad de usos que las industrias le dan al nopal:

Agroindustria de alimentos para animales: suplementos y piensos (alimento seco para ganado) de cladodios y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas.

Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano: Fruta y verdura, producción de diversos alimentos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas de tuna y nopalitos.

Industria textil: uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla.

Industria de suplementos alimenticios: fibra y harinas de cladodios.

Industria productora de aditivos naturales: gomas de cladodios, colorantes de la fruta, espesantes, emulsificantes, gelificante.

Industria cosmética: cremas, shampoos, lociones de cladodios.

Industria farmacéutica: protectores gástricos de extractos de mucílagos; cápsulas y tabletas de polvo de nopal.

Sector productor de insumos para la agricultura: productos del nopal como mejoradores del drenaje de suelos.

Sector de la construcción: compuestos ligantes de los cladodios.

Sector energético: producción de biogás a partir de las pencas.

Sector turismo: artesanías en base a cladodios lignificados.

(Valdez y col., 2008).

3.5 MUCÍLAGO DEL NOPAL

Los mucílagos se definen en forma general como: polisacáridos poco ramificados que no conforman las paredes de células vegetales, pero se encuentran en el interior de semillas y algas. Disminuyen el tiempo de vaciado gástrico, funcionan como prebiótico y fijan los ácidos biliares (Martínez-Flores y Figueroa, 2008).

El nopal excreta una sustancia viscosa llamada “mucílago”; el mucílago o baba del nopal, uno de los componentes más importantes, el cual también forma parte de la fibra dietética, ha sido objeto de estudio desde hace varias décadas y su composición química (azúcares, principalmente monosacáridos, presentes son, arabinosa, galactosa, ácido galacturónico, ramnosa y xilosa). Este compuesto se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones (Abraján, 2008). El mucílago es un polímero compuesto por polisacáridos semejantes a las pectinas. El mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser un producto de interés para la industria alimentaria por su poder espesante (Méndez, 2006). Cabe destacar un papel importante de los mucilagos que tienen la capacidad de retener el agua.

3.5.1 ESTRUCTURA QUÍMICA DEL MUCÍLAGO

El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado con muchos azúcares. Es un polímero lineal cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol y que está compuesto por polisacáridos emparentados con las pectinas (Ruiz y Guerrero, 2009). Es una molécula muy larga y compleja. Entre

los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico (Figura 1). 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), entre otros factores (Abraján, 2008).

El mucílago también contiene una considerable cantidad de ácido galacturónico, el cual es un azúcar carboxilado. Porque los iones hidrógeno tienden a disociarse de la parte carboxílica, de las subunidades galacturónicas, y es por eso que la molécula de mucílago tiende a ser fuertemente cargada negativamente.

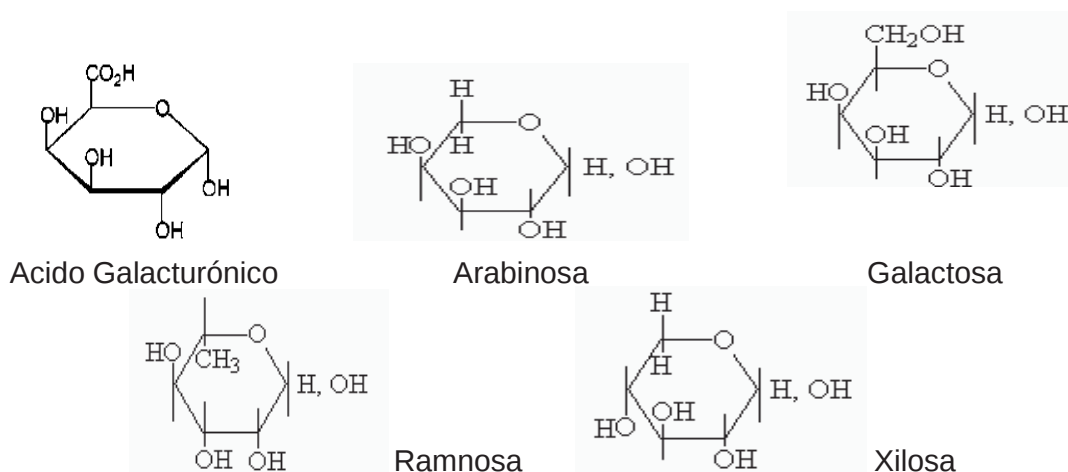


Figura 1. Compuestos del mucílago.

Esta negatividad causa la unión de los iones calcio (Ca^{+2}) en muchos lugares en la molécula del mucílago, y por lo tanto el 20% del calcio insoluble en el tallo del nopal puede estar asociado con el mucílago.

Su composición glucosídica es aproximadamente de 47% de Arabinosa, 23% de Xilosa, 18% de Galactosa, 7% de Ramnosa, y 5% de Ácido Galacturónico respecto a su peso molecular. Existe una propuesta sobre la estructura del mucílago que incluye dos distintas fracciones solubles en agua; una es una pectina con propiedades gelificantes con Ca^{2+} y la otra es un mucílago sin propiedades gelificantes. Se ha reportado que en *Opuntia ficus indica*, la fracción de polisacáridos solubles en agua con propiedades espesantes, representa menos del 10% del material soluble en agua (Ruiz y Guerreiro, 2009).

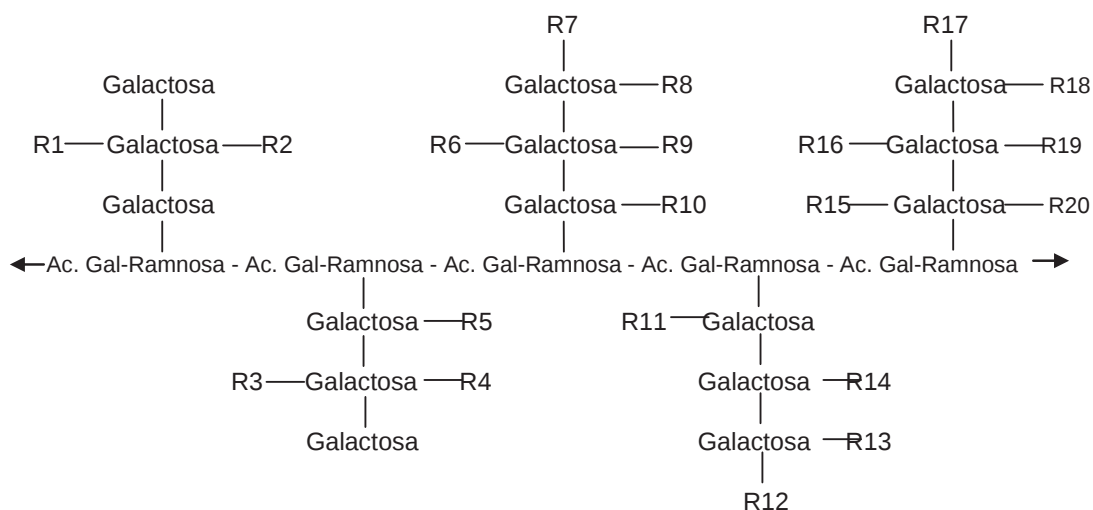


Figura 2. Posible estructura del mucílago.

El esqueleto de la molécula consiste en residuos alternados de ramnosa y ácido galacturónico los cuales están unidos a los lados con cadenas compuestas de tres residuos de galactosa. Los residuos de arabinosa y xilosa están ramificados en los lados de las cadenas de galactosa; xilosa parece estar unida a arabinosa, las cuales están entonces ligadas a la galactosa. Algunas cadenas de galactosa tienen unidas a los lados arabinosa pero no xilosa, y algunas tienen una xilosa con dos residuos de arabinosa. Esta estructura representa solo una pequeña porción de molécula del mucílago, porque la unidad representada en la Figura 2 es repetida 500 veces.

El mucílago de otras especies de *Opuntia* está compuesto por los mismos residuos de azúcares, pero en diferentes porcentajes que *O. ficus-indica*. Las células del mucílago de las *Opuntias* que han sido estudiadas pueden ocupar cerca del 3% del volumen del tallo y pueden afectar el metabolismo en diferentes formas. Primero, porque hay mucho Ca^{+2} que está ligado al mucílago, las células del mucílago actúan como depósito de calcio para el tallo. Segundo, el agua puede estar ligada a muchos residuos de azúcares de la molécula del mucílago, y así la presencia de mucílago afecta el estado de hidratación del tallo. Este papel de almacenaje de agua parece ser sólo un aspecto secundario de las relaciones de agua del tallo. Tercero, el mucílago juega el papel de protección del nopal del daño de altas temperaturas (Gibson y Nobel, 1990).

Dentro de los tejidos del clorénquima y de la parénquima (capas de la epidermis del nopal, capa externa compuesta por células verdes y capa interna compuesta por un cilindro de células blancas, respectivamente) existen las células mucilaginosas que almacenan el mucílago, estas células son más abundantes en el parénquima. El mucílago es un compuesto muy complejo que tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua. Se ha demostrado que el mucílago sólo se encuentra en el aparato de Golgi y la síntesis del mucílago se lleva a cabo probablemente en él (Ruiz y Guerrero, 2009).

3.5.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO

La Tabla 7 muestra los diferentes macrocomponentes del mucílago de nopal por diferentes procesos de extracción, los valores están expresados en promedio del porcentaje del peso.

Tabla 7. Composición química del mucílago en diferentes procesos de extracción

Porcentaje	Escaldado	Entero	Decolorado	Cocido
Carbohidratos	72.9±1.7 ^a	68.9±0.9 ^b	72.6±0.0 ^a	74.8±0.1 ^c
Fibra cruda	0.6±0.1 ^{ab}	1.3±0.6 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b
Proteínas	4.0±0.3 ^a	3.0±0.1 ^b	3.7±0.0 ^a	3.9±0.1 ^a
Grasa	0.6±0.1 ^a	0.9±0.0 ^b	0.8±0.0 ^b	0.7±0.0 ^a
Cenizas	21.9±1.8 ^a	25.9±0.7 ^b	22.8±0.1 ^{ab}	20.5±0.2 ^a

Letras iguales en la misma fila indican grupos homogéneos ($\alpha \geq 0.05$) establecido por ANOVA (Abraján, 2008).

La Tabla 8 muestra los minerales que se encuentran en mayor cantidad. Los resultados obtenidos sugieren que la técnica de extracción afecta al contenido de minerales del mucílago. El tratamiento térmico aplicado al mucílago escaldado parece que fija el calcio a la cadena del polímero, evitando su eliminación durante la etapa de precipitación. Por el contrario, el calor promueve que Na^+ y el K^+ se solubilicen en la fase acuosa durante la etapa de precipitación. El Mg^{2+} está asociado a la clorofila por lo que la menor cantidad de este mineral se encontró en los extractos a partir de pencas peladas.

Tabla 8. Cantidad (mg) de minerales en el mucílago

Mineral	Escaldado	Entero	Decolorado
Ca ²⁺	59.9±0.5 ^a	2.6±0.0b	9.3±0.1c
Mg ²⁺	No detectado	8.4±0.1 ^a	0.2±0.0b
K ⁺	231.5±1.4 ^a	894.2±2.5b	37.6±0.4c
Na ⁺	0.4±0.0a	7.4±0.1b	61.5±0.5c

Letras iguales en la misma fila indican grupos homogéneos ($\alpha \geq 0.05$) establecido por ANOVA (Abraján, 2008).

En la Tabla 9 se muestra la diferencia del contenido de pectina, en tres mucílago obtenidos por diferentes procesos de extracción: escaldado, entero y cocido, y como se puede observar, el mayor contenido de pectina se obtuvo en el mucílago extraído por el proceso de escaldado.

Tabla 9. Valores medios y desviación estándar de pectina total y sus fracciones, caracterizadas en tres mucílago (g/g s.s.)

	PT	PSA	POS	PNE
Escaldado	0.459±0.003a	0.377±0.006a	0.067±0.002a	0.066±0.008a
Entero	0.454±0.003a	0.357±0.009b	0.045±0.002b	0.053±0.006a
Cocido	0.432±0.007b	0.128±0.008c	0.012±0.002c	0.292±0.002b

(Abraján, 2008).

3.5.3 PROPIEDADES Y USOS DEL MUCÍLAGO

Este mucílago constituye un hidrocoloide que podría integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica, además de que tiene una gran capacidad de absorción de agua. Su poder espesante está siendo actualmente estudiado, con resultados interesantes, por lo que si se mejoran los rendimientos de extracción podría competir con gomas de gran uso como la goma garrofín, la goma guar u otros agentes espesantes. También se atribuyen a los mucílago propiedades como reemplazantes de grasas en diversos alimentos y también como un ligante del sabor (Abraján, 2008).

El nopal contiene un biopolímero especial (mucílago) que tiene la habilidad para modificar las propiedades funcionales como la viscosidad, elasticidad, gelificante, espesante y retención de agua, por lo que se le emplea en la elaboración de diversos productos: shampoo, enjuagues, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, jabones, pomada y cosméticos (Orozco y col, 2007).

Una de las ventajas del mucílago es la de actuar como barrera ante la oxidación, ya que evita el contacto de las enzimas como la PPO con el oxígeno ambiental, por lo que se extiende la vida de anaquel del nopal evitando así su oscurecimiento, pérdida de firmeza y mal olor. La manera en la que el nopal comienza a tener cambios de coloración es debido a la deshidratación y por lo tanto a la pérdida de mucílago en los cladodios del nopal, favoreciéndose el contacto entre la PPO y el oxígeno, dando como resultado un producto de mala calidad (Aguilar y col., 2007).

Se ha estudiado la capacidad como agente emulsionante del mucílago de *Opuntia ficus-indica* y se encontró que:

1. Reduce la tensión superficial e interfacial.
2. Estabiliza emulsiones del tipo aceite-agua.
3. Forma gotas de aceite pequeñas.
4. Absorbe hacia la interface aceite-agua y no contribuye a la viscosidad de los sistemas.
5. Los sistemas no floculan.

Un estudio demostró que la adición de mucílago de nopal en distintas concentraciones (0.5 y 0.8%) a espumas elaboradas con clara de huevo aumenta la estabilidad con respecto a un control sin adición de mucílago. También se atribuyen a los mucílagos propiedades como reemplazantes de grasas en diversos alimentos y como un ligante del sabor (Abraján, 2008).

Los mucílagos mejoran la textura y estabilizan las emulsiones, controlan la cristalización, estabilizan suspensiones, inhiben la sinéresis y crean películas comestibles. Algunos de ellos tienen la capacidad de formar geles. Otros usos del mucílago del nopal, es su utilización en la clarificación de aguas, su

adicción a la cal como adherente de la pintura o su introducción en el suelo para aumentar la infiltración de agua (Valdez y col., 2008).

Entre otras aplicaciones que se le da al mucílago de nopal sirve para adherir o pegar las arcillas deleznable de los adobes, pequeños terrones, fragmentos de cerámica, pigmentos de pintura mural, consolida estucos coloniales de cal y arena, pega fragmentos de concha, pergamino y papel (Torres y Cedillo, 1996).

3.6 EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO

Para la extracción del mucílago de nopal se utilizó el método propuesto por Forni y col. (1994), y las sugerencias de Medina-Torres y col. (2000).

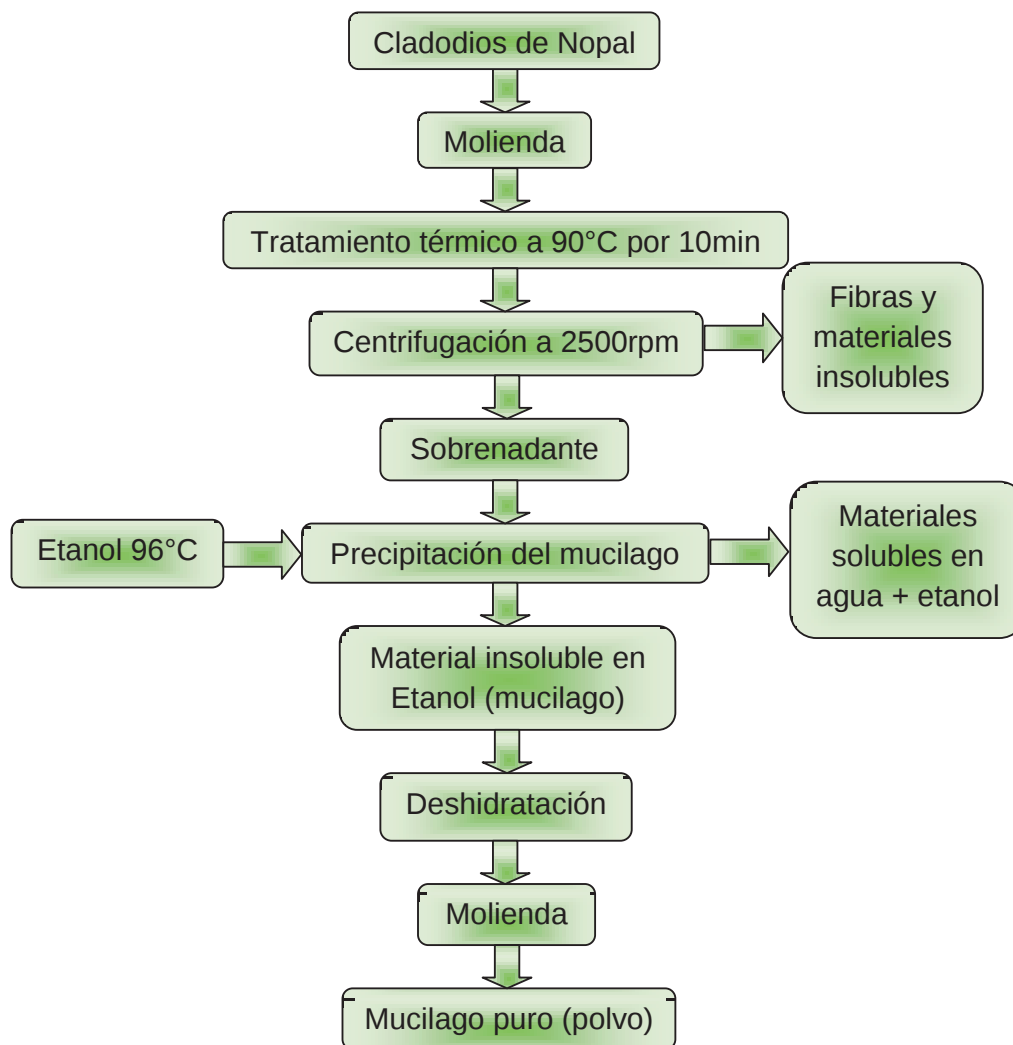


Figura 3. Proceso de extracción del mucílago.

(Arizmendi, 2004).

Existen diversos métodos de extracción del mucílago de nopal como el de Sepúlveda y col. (2006), el cual indica que los cladodios de nopal se lavan, se les remueve la piel y las espinas. La relación de nopal:agua fue de 1:5 y 1:7, la temperatura de extracción fue de 40 ± 2 y 16 ± 2 °C, y el tiempo de calentamiento fue de 4, 8 y 16 h. Para la precipitación se realizó con dos tipos de alcohol (etanol e isopropanol) con 2 relaciones 1:3 y 1:4 en ambos.

3.7 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO

Los rendimientos dependen directamente de la cantidad de agua que se agrega en el proceso de extracción, es decir, entre mayor sea cantidad de agua utilizada para la extracción permite el aumento del rendimiento y la extracción de mayores cantidades de otros compuestos ligados al mucílago.

Los rendimientos de extracción del mucílago escaldado y decolorado obtenidos fueron de 0.66 g/100 g de nopal fresco; el del mucílago entero de 0.85 g/100 g y el del mucílago cocido de 0.33 g/100 g. El rendimiento no tan alto del mucílago escaldado y decolorado puede atribuirse a que durante el pelado del nopal se elimina una fracción de pulpa que también contiene el mucílago. En el caso del mucílago cocido el rendimiento tan bajo puede deberse a que el mucílago se encuentra contenido dentro de células especializadas y el simple troceado de la penca previo a la cocción, no resulta tan eficiente como la molienda para la liberación del hidocoloide en las etapas posteriores.

Algunos otros valores encontrados en la bibliografía respecto a rendimientos de extracción del mucílago de nopal son, por ejemplo, el de Cárdenas y col. (1997), que reportan un rendimiento de 0.07 g/100 g nopal fresco. Sepúlveda y col. (2007) obtuvieron rendimientos entre 1.3-1.6 g/100 g nopal fresco en función del volumen de agua, temperatura y tiempo de extracción. Majdoub y col. (2001) publican un rendimiento de 0.085 g mucílago purificado/100 g de pulpa fresca, donde se eliminaron proteínas y minerales mediante ultrafiltración (Abraján, 2008).

3.8 REOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

Los alimentos, además de ofrecer un olor, color y sabor característicos, exhiben determinado comportamiento mecánico: reaccionan de un cierto modo cuando intentamos deformarlos. Pueden ser duros o blandos, correosos o deleznales; gomosos o quebradizos; de textura uniforme o fibrosa, etcétera. Unos fluyen fácilmente, otros con dificultad.

Al estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales se le denomina “Reología”, que es la ciencia de la deformación de la materia, se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvo, e incluso de la reducción a partículas, o molturación (Muller, 1977).

3.8.1 VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia que una sustancia presenta para fluir libremente y es el resultado de la fricción interna que se genera entre las capas del líquido o semilíquido. Para una mejor comprensión sobre este fenómeno, si se tiene un líquido con diferentes capas donde se aplica fuerza a una de las capas y esta capa adquiere una velocidad V_1 , la segunda capa se moverá más lento debido al roce entre la primera y la segunda capa y la segunda capa adquirirá una velocidad más lenta V_2 debido a la viscosidad entre las dos capas; el movimiento se seguirá transmitiendo pero cada vez más lento, de tal manera que la última capa fluirá más lento y por lo tanto a una menor viscosidad (Badui, 1999).

La unidad de viscosidad es el Poise, que es la fuerza tangencial (fuerza ejercida) que se requiere para mantener una velocidad de 1 cm/seg de un fluido entre dos planos paralelos de un área de 1 cm² y separados por un centímetro de distancia. Por lo que, 1 Poise equivale a 1 g/cm.seg en sistemas poco viscosos como por ejemplo el agua; también se emplea el centipoise (cP).

Por lo general, no se utiliza en las mediciones la viscosidad absoluta sino la viscosidad específica o relativa que se expresa mediante comparaciones con un fluido como el agua, cuya viscosidad es conocida. Para líquidos muy espesos es recomendable utilizar un líquido más viscoso como

por ejemplo el glicerol. De acuerdo a los diferentes tipos de comportamiento, los líquidos se dividen en fluidos newtonianos y no newtonianos. Los newtonianos presentan una relación proporcional entre el esfuerzo de cizallamiento o esfuerzo de corte aplicado (τ) y la rapidez de corte o deformación ($\dot{\gamma}$) a través del coeficiente de viscosidad (η) del fluido en cuestión. Los fluidos newtonianos tienden a tener la misma viscosidad a diferentes razones de corte y se les llama así debido a que se mantienen sobre un mismo rango de razón de corte al ser medido. Los fluidos newtonianos se representan por la ecuación de newton (Badui, 1999):

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Los sistemas fluidos no newtonianos se encuentran en los alimentos, sus propiedades dependen de las características moleculares y estructurales de los coloides que los componen, como la forma y el tamaño de las partículas, al igual que el grado de interacción y el ordenamiento que existe entre las partículas. Todos estos factores determinan el comportamiento del fluido.

A diferencia de los fluidos newtonianos, los no newtonianos tienen diferentes viscosidades a diferentes cortes de deformación y su a vez se dividen en pseudoplásticos, plásticos y dilatantes y presentan cambios en su reología a diferentes esfuerzos cortantes (Badui, 1999).

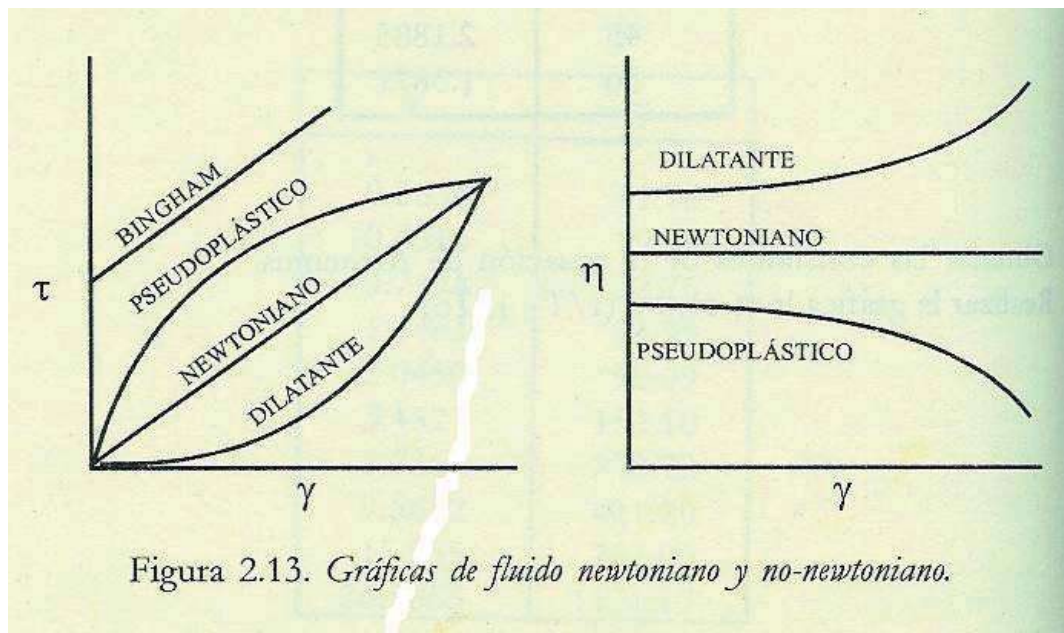


Figura 2.13. Gráficas de fluido newtoniano y no-newtoniano.

Figura 4.- Gráfica de fluidos Newtonianos y no Newtonianos.

IV. JUSTIFICACIÓN

Existen varios estudios en los que reportan diferentes procesos de extracción de mucílago de nopal así como su caracterización química. No obstante, los rendimientos han sido bajos y hace falta información que arroje más datos sobre la caracterización reológica del mucílago y con base en ella establecer si es posible que suspensiones de mucílago puedan ser usadas como un agente espesante en la industria alimentaria.

V. HIPOTESIS

Con base en modificaciones propuestas a las metodologías ya existentes se podrá optimizar el proceso de extracción para obtener un mayor rendimiento de mucílago.

VI. OBJETIVOS

6.0 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el rendimiento de extracción de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y hacer la caracterización de sus propiedades de viscosidad.

6.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Mejorar el método de extracción de mucílago, en función de su pH, las relaciones agua:mucílago y alcohol:mucílago, y su tiempo de calentamiento.
- ✓ Caracterizar químicamente el mucílago de nopal en polvo.
- ✓ Analizar la viscosidad del mucílago a diferentes concentraciones, velocidades y tiempo.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.0 MATERIA PRIMA

- ✓ Se utilizó nopal fresco especie *Opuntia ficus indica* adquirido en el mercado de abastos de la ciudad de Morelia, Mich., México.

7.1 MATERIAL Y EQUIPO

- ✓ Cuchillo y tabla para cortar.
- ✓ Balanza Analítica Digital Sartorius ISO 9001. Modelo: BL 1205.
- ✓ Balanza granataria marca Ohaus de capacidad de 2610g modelo tripe Beam balance.
- ✓ Parrilla de gas.
- ✓ Centrifuga Hermle Modelo: Z 400 K.
- ✓ Etanol 96°Gl
- ✓ Refrigerador marca general electric modelo turbo plus cooling sissem.
- ✓ Deshidratador solar.
- ✓ Licuadora Osterizer.
- ✓ Desecador Nalgene Modelo: 150MM.
- ✓ Estufa de Secado Digital Felisa Modelo: Fe-291D.
- ✓ Bomba de Vacío Siemens Modelo: IRF3 052-4YC31.
- ✓ Mufla Felisa.
- ✓ Extractor Soxhlet Tauro.
- ✓ Viscosímetro LVDV-II+pro (Brookfield Engineering Lab Inc. Stoughton, Mas. U.S.A)

7.2 METODOLOGÍA PARA LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO

Para la extracción del mucílago de nopal se utilizó una modificación con base en la metodología propuesta por Arizmendi en el 2004, que a su vez se basó en las sugeridas por Medina-Torres y col. (2000), quien a su vez modificó la propuesta inicial de Forni y col. (1994). La metodología modificada se describe en la Figura 3.

Esta modificación se realizó, ya que la metodología no especificaba la cantidad de agua para la extracción, la cantidad de etanol para la precipitación del mucílago, y algunos otros parámetros. Para la optimización de la metodología de la extracción de mucílago de nopal, realizada en este proyecto, se basó principalmente en 4 parámetros: el pH, el tiempo de calentamiento de la mezcla mucílago con agua, la relación gramos de nopal: mililitros de agua y la relación de mezcla de mucílago con agua: mililitros de etanol para lograr una mayor precipitación. Todo esto se realizó para lograr un mayor rendimiento de mucílago de nopal en polvo. Estas pruebas efectuadas para la optimización del método se describen a continuación más a detalle.

7.3 RELACIÓN AGUA: NOPAL

El experimento comenzó con 4 muestras de nopal de 200 g, a las cuales se les agregó agua en relación 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4 (Figura 5). Después de agregar el agua, cada una de las mezclas se licuó y posteriormente se calentó a 90 °C por 10 min; en seguida, se dejaron reposar para que las muestras se enfriaran y más tarde ser centrifugadas a 2500 rpm durante 10 min en tubos Falcon de 50 ml, la parte que nos interesaba era el sobrenadante, por lo cual la parte sólida se desechó.



Figura 5. Relación nopal:agua.

A continuación se procedió a precipitar el mucílago con alcohol al 96% de pureza en relación 4:1 (alcohol:mucílago) y se dejó reposar durante 48 h en el refrigerador. Al paso de los dos días el mucilago precipitado se observaba como una goma verde claro o blanca (Figura 6), la cual se recuperó por decantación y la parte precipitada en el fondo del recipiente se centrifugó a 2500 rpm por 10 min en tubos Falcon de 50 ml, y el mucilago precipitado en el

fondo del tubo se recuperó y se colocó junto con el mucílago que se recobró por decantación.



Figura 6. Recipientes con alcohol:mucílago.

Posteriormente se paso a un recipiente de aluminio para removerle el exceso de alcohol y agua que retenía el mucílago (Figura 7), el recipiente se introdujo en un deshidratador solar.



Figura 7. Mucílago precipitado en la relación agua:nopal.

Al estar el mucílago completamente seco se molió en una licuadora para así obtener el mucílago puro en polvo.

7.4 RELACIÓN DE ETANOL PARA LA PRECIPITACIÓN DEL MUCÍLAGO

El proceso de extracción del mucílago fue exactamente igual al realizado anteriormente, pero cuando se tuvo la mezcla del nopal molido con agua, se tomaron 4 alícuotas de 20 ml de para realizarle las pruebas con etanol:mucílago líquido en las relaciones: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, respectivamente. Se mezclaron perfectamente hasta obtener una uniformidad en cada muestra y se dejaron reposar durante 48h hasta obtener los precipitados de cada una de las pruebas.

7.5 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO

Para realizar esta determinación se tomo en cuenta, de acuerdo a la bibliografía, que a mayor tiempo de calentamiento más soluble sería el mucílago y por lo tanto mayor rendimiento se obtendría de éste; de acuerdo con esto se realizaron las pruebas a 4 diferentes tiempos de calentamiento: 1 h, 2 h, 3 h y 4 h, pero a diferencia de la metodología principal la temperatura se bajó de 90 °C a 80 ± 2 °C, ya que la temperatura es muy alta y podría afectar al mucílago debido al incremento en los tiempos.

Cada muestra tenía un peso de 163.12 g de nopal; el procedimiento de extracción fue el mismo, pero usando ya las modificaciones de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en cuanto a la relación de agua y de etanol.

7.6 PRUEBAS DE pH

Para esta prueba se trabajó con cinco muestras de 200 g usando la metodología con las variaciones que ya se han mencionado anteriormente; la adición del ácido se implementó en la parte de la mezcla de nopal con agua. La primer muestra no se modificó el pH se quedó en pH de 4.45 que es el pH original del nopal, la segunda muestra se bajó el pH a 4, la tercer muestra a pH de 3, la cuarta a pH de 2 y por último la quinta se bajó hasta pH de 1.



Figura 8. Mezcla de nopal a diferentes pH.

Después de bajar el pH en las muestras, se calentaron a 82 ± 2 °C por 1 h, se enfriaron y centrifugaron, las muestras se concentraron en baño María por 150 min y después se precipitó con volumen 1:4 de alcohol, se dejó reposar 48 h en el refrigerador, se recuperó el precipitado de cada una, se secaron en el deshidratador solar, se molieron en la licuadora, para finalmente ser pesadas.



Figura 9. Mezcla de nopal a diferente pH después del calentamiento a 82 °C por 1h.



Figura 10. Mezcla de mucílago líquido:agua a diferente pH.

La Figura 10 muestra claramente el cambio de color de la solución de mucílago después de bajar el pH.

Las siguientes Figuras (11-15) muestran como la consistencia de la suspensión que contenía el mucílago, al estar en un pH más ácido, cambiaba a un aspecto menos espesa.

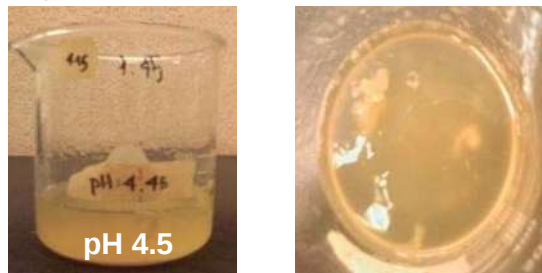


Figura 11. Mucílago líquido pH inicial.

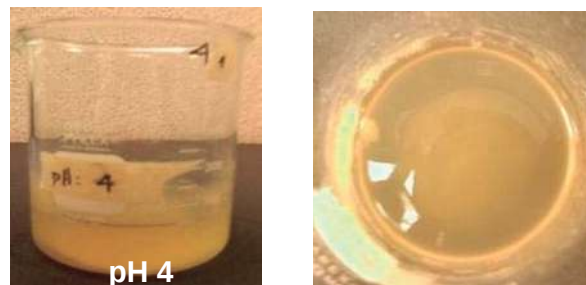


Figura 12. Mucílago líquido pH 4.

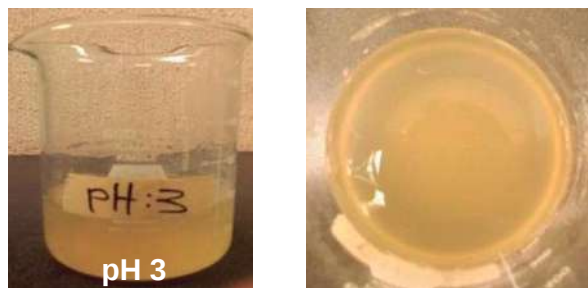


Figura 13. Mucílago líquido pH 3.

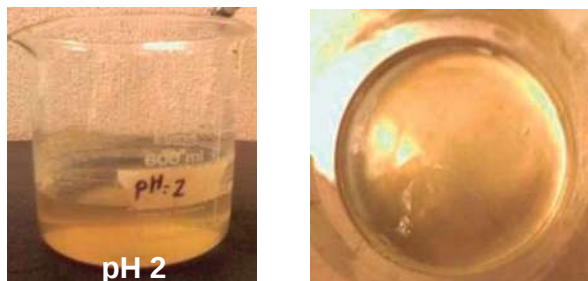


Figura 14. Mucílago líquido pH 2.

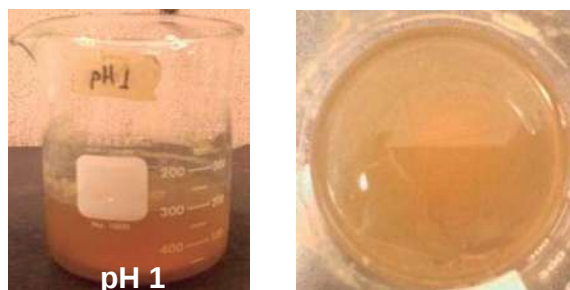


Figura 15. Mucílago líquido pH 1.

Al precipitar el mucílago con etanol se observó que entre más ácido estaba la muestra era más blanco el precipitado, además la muestra de pH 1 era muy diferente la consistencia era más suave y más blanca en el precipitado, como lo muestran en las figuras de la 16 a la 21.



Figura 16. Mucílago precipitado en etanol, pH inicial.

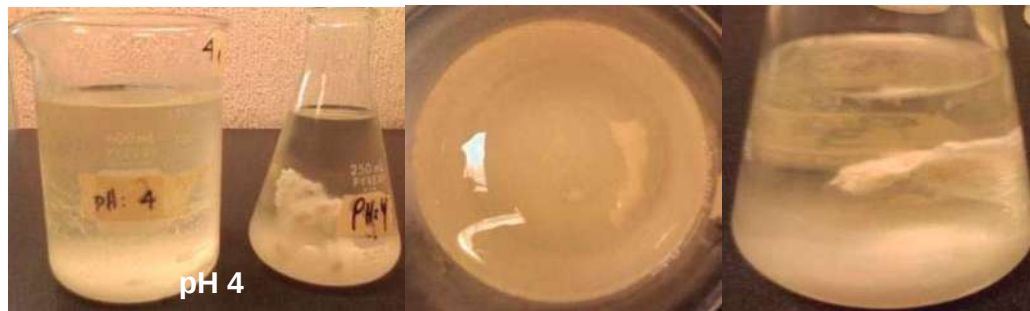


Figura 17. Mucílago precipitado en etanol, pH 4.



Figura 18. Mucílago precipitado en etanol, pH 3.

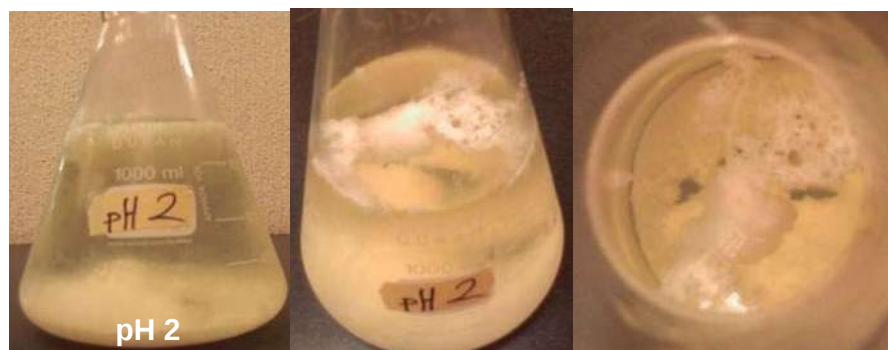


Figura 19. Mucílago precipitado en etanol, pH 2.



Figura 20. Mucílago precipitado en etanol, pH 1.

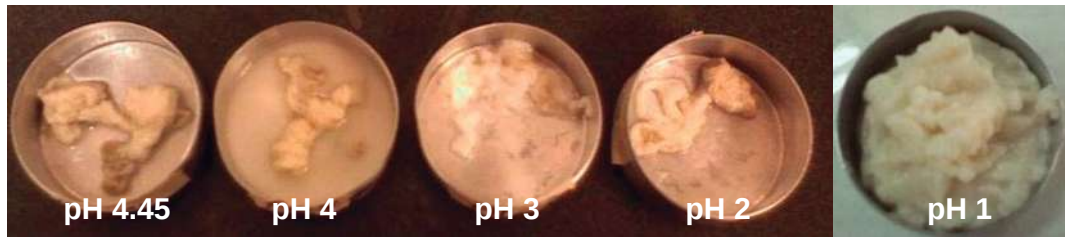


Figura 21. Precipitado de Mucílago a diferente pH, antes de secar.

La figura 22 muestra al mucilago seco a diferente pH antes de ser molido y pesado.

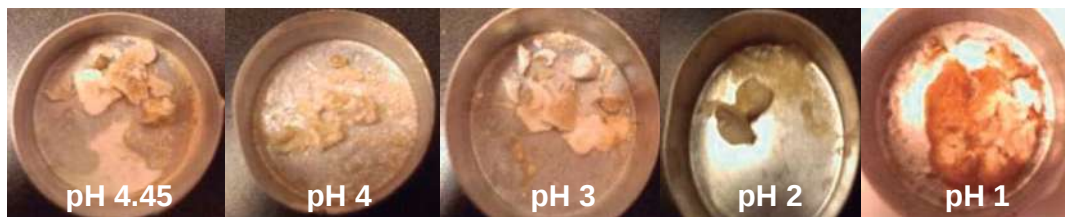


Figura 22. Precipitado de Mucílago seco a diferente pH.

Por último la Figura 23 nos muestra al mucílago en polvo en los diferentes pH. Como se puede observar la coloración del mucílago a pH 1 es muy diferente a las muestras en los otros pH, la coloración es café al pH 1.



Figura 23. Mucílago en polvo a diferente pH.

7.7 MÉTODO OPTIMIZADO EN LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL

Una vez optimizada la metodología para la extracción del mucílago, con las variaciones ya realizadas (Figura 24), se procedió a obtener un lote grande de mucílago en polvo para poder realizarle la caracterización química y conocer la viscosidad a varias concentraciones.

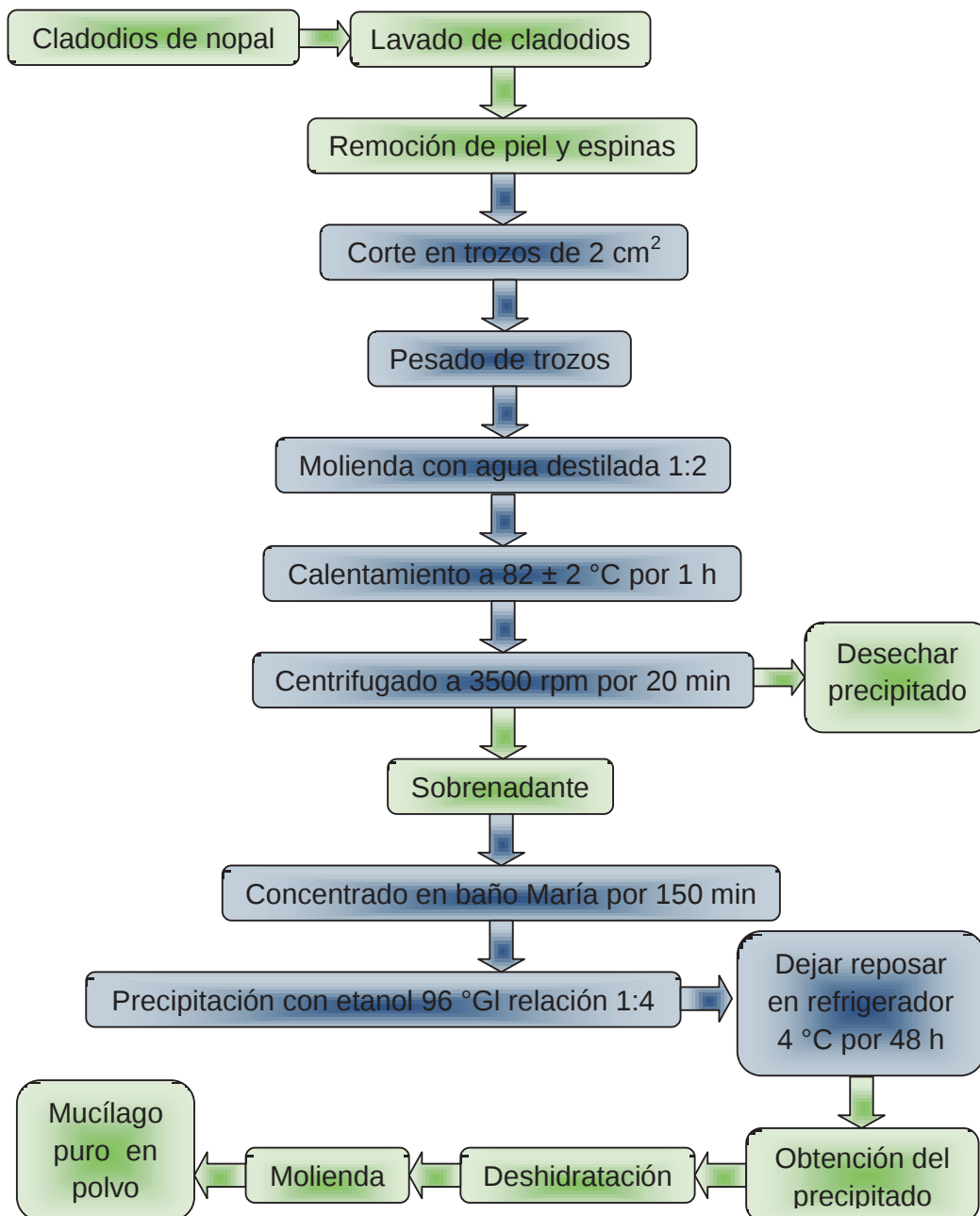


Figura 24. Metodología optimizada para la extracción del mucílago.

7.7.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA OPTIMIZADA

1. Los cladodios de nopal se lavaron con agua y jabón.
2. Posteriormente se le removió la piel y las espinas, y se cortaron en trozos de 2 cm² aproximadamente.



Figura 25. Remoción de piel y espinas de los cladodios de nopal, y trozos de nopal de 2 cm².

3. Los cladodios se pesaron en una balanza granataria, para así medir lo que se requería de agua destilada. Se realizaron 2 lotes de cladodios de nopal: el primero fue de 4.08 kg y el segundo 13.22 kg.
4. Teniendo el peso neto de los cladodios se procedió a molerlos con agua destilada en una relación de 1:2 (por 1 g de nopal se necesitaron 2 ml de agua destilada), es decir, el primer lote ocupó 8.16 L de agua y en el segundo se necesitaron 26.4 L de agua.



Figura 26. Molienda de nopal con agua destilada.

5. Después de la molienda, la mezcla de nopal y agua destilada se calentó en una estufa a 82 °C ± 2 °C por 1h, en recipientes grandes de aluminio.



Figura 27. Calentamiento de la mezcla de nopal y agua destilada $82 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 1h.

6. Al terminar el tiempo de calentamiento se dejó reposar hasta que la mezcla estaba a temperatura ambiente para poder centrifugarla a 3500 rpm durante 20 min en tubos Falcon de 50 ml de capacidad.



Figura 28. Centrifugación de la mezcla.

7. El sobrenadante se recuperó, luego se puso a calentar nuevamente a baño maría por 150 min, esto con el propósito de que el sobrenadante perdiera más humedad y así concentrar más al mucílago líquido existente en ésta, además de utilizar menor cantidad de etanol durante la precipitación.



Figura 29. Concentración en baño María de mucílago existente en el sobrenadante.

8. El sobrenadante ya concentrado, se le agregó etanol a 96 °Gl en una relación de 1:4 (por cada ml de sobrenadante se utilizaron 4 ml de etanol) para precipitar el mucílago existente en él, para lo cual se dejó reposar durante 48 h en el refrigerador a 4 °C.



Figura 30. Precipitación del mucílago con etanol.

9. Después de transcurridas las 48 h, el mucílago precipitado se recuperó y se colocó en recipientes de aluminio para ser colocados dentro del desecador solar para deshidratarlo.



Figura 31. Recolección y secado del mucílago.

10. El mucílago ya seco se trituró en un mortero, ya que el mucílago estaba muy duro, para facilitar la molienda en la licuadora.



Figura 32. Trituración y molienda del mucílago seco.

11. Por último el mucílago en polvo obtenido de la moliendo se pesó en una balanza analítica para obtener su rendimiento en ambos lotes.

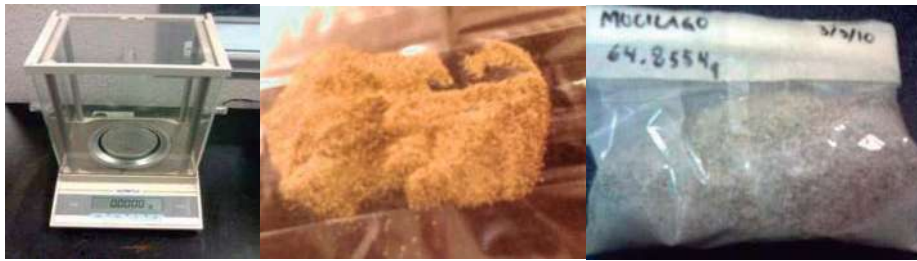


Figura 33. Obtención y pesado del mucílago de nopal puro en polvo.

7.8. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL EN POLVO

7.8.1. DETERMINACION DE HUMEDAD, CENIZAS, CARBOHIDRATOS, EXTRACTO ETÉREO Y PROTEÍNA

Al mucílago puro en polvo se le realizó un análisis bromatológico para su caracterización química, las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- o Las determinaciones de humedad y cenizas, se determinaron por los métodos 934.01, 962.09, de la AOAC (1990), los métodos de extracto etereo y proteína se realizaron de acuerdo a la AACC 2000 y los carbohidratos se determinaron por el método de Clegg Anthrone 1856.

7.8.2. DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA

Se determinó por el método enzimático de Prosky y col. (1998), se realiza en dos partes: digestión y filtración.

Digestión

1. Se pesó 1g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
2. Se agregaron 50 ml de solución buffer de fosfatos 0.08M pH 6.
3. Se agregó 0.1 ml de la α -amilasa, a una temperatura de 95 °C; la solución se agitó por 30 min.
4. Se dejó enfriar a temperatura ambiente.

5. Se ajustó a pH de 7.5 con NaOH (0.275N).
6. Se le agregó 0.1 ml de la enzima proteasa y se colocó a Baño María a 60 °C, agitándose por 30 min.
7. Se atemperó y se ajustó a un pH de 4.5 con HCl (0.325N).
8. Se agregó 0.1 ml de la enzima amiloglucosidasa y se llevó a Baño María a una temperatura de 60 °C por 30 min., con agitación constante.

Filtrado

1. El papel filtro a peso constante.
2. Se filtró la muestra y se lavó con 3 volúmenes de 10 ml de agua destilada, quedando dos partes el filtrado y el sobrenadante (fibra insoluble y soluble).
3. A la parte del papel filtro (FD insoluble) se hacen lavados con alcohol al 78%, al 95% y con acetona con 3 volúmenes de 10 ml cada uno.
4. Se puso el papel filtro a peso constante a 105 °C por 1h, se atemperó y se pesó.
5. La parte líquida (FD soluble) se colocó en un vaso precipitado y se ajustó a 100 ml con agua destilada, adicionándosele 400 ml de etanol al 95% a 60 °C; se dejó precipitar por 1 h y se filtró.
6. Se lavó con alcohol al 78% con 3 volúmenes de 10 ml cada uno aproximadamente, se lavó con alcohol al 95% y por último con acetona.
7. Se colocó el papel filtro a peso constante en la estufa por 1 h a 105 °C, se atemperó y se pesó.

CÁLCULOS

NOTA: para este método se descartó el peso de las proteínas.

La FD total se calcula considerando el peso del residuo.

$$FD = (\text{Papel filtro inicial} - \text{el papel filtro con mtra}) - \text{Peso de cenizas.}$$

7.8.3. DETERMINACIÓN DE PECTINA

La determinación de pectina se realizó por el método gravimétrico de Carre y Haynes, citado por Lees (1969).

Se utilizó un cuadruplicado de una muestra de 5 g, se les agregó 100 ml de agua destilada, se extrajo la pectina a ebullición 3 veces, se filtró, y en cada filtrada se recuperó el volumen con 100 ml de agua, teniendo un volumen final de 400 ml. Al filtrado se le agregaron 100 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N y se dejó reposar por 12 h. Posteriormente se le adicionaron 50 ml de ácido acético 1 N, se dejó reposar por 5 min para adicionarle finalmente 50 ml de cloruro de calcio (CaCl_2) 2 N y se dejó reposar 1 h; se hirvió durante 5 min y se filtró. Después se lavó el residuo con 500 ml de agua destilada caliente para eliminar el cloro, el precipitado obtenido se redisolvió en 100 ml de agua destilada a 25° C y se llevó a ebullición durante 5 min. Por último, se filtró en papel filtro de poro abierto previamente puesto a peso constante, se lavó y secó el papel con el residuo hasta peso constante.

CÁLCULOS:

El resultado se reportó como por ciento de pectina mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de } \text{C}_{17} \text{H}_{22} \text{O}_{16} \text{Ca} = ((w_1 - w_2)/w) \times 100$$

Donde:

w_1 = Peso del papel con el residuo gramos

w_2 = Peso del papel en gramos

w = Peso de la muestra (w) en gramos.

7.8.4. VISCOSIDAD DEL MUCÍLAGO DE NOPAL

Además de realizarle una caracterización química, al mucílago de nopal se le efectuó una prueba reológica de viscosidad variando condiciones como: concentración del mucilago, tiempo y velocidad de corte; para conocer su capacidad espesante.

Las concentraciones a las que se trabajó el mucílago fueron de: 0.3%, 0.5%, 1%, 3%, 8%. El porcentaje se manejó de acuerdo al agua destilada utilizada que fue de 500 ml en cada prueba.

El tiempo fue de 90 min en cada prueba, tomando lectura en tiempos de 5 min por cada lectura hasta llegar al tiempo marcado.

Las velocidades de corte utilizadas en esta prueba de viscosidad fueron de: 100 rpm, 50 rpm, 20 rpm, 10 rpm, 5 rpm, 4 rpm, 2.5 rpm, 2 rpm, 1 rpm, 0.5 rpm.

En algunos casos la viscosidad alcanzaba un 100%, entonces la prueba se detenía y se continuaba cambiando cualquiera de los parámetros ya dichos anteriormente.

Cabe resaltar que se hizo una prueba piloto con anterioridad a base de goma xantana para tener un respaldo en cuanto a las lecturas obtenidas en esta prueba de viscosidad.

VIII. RESULTADOS

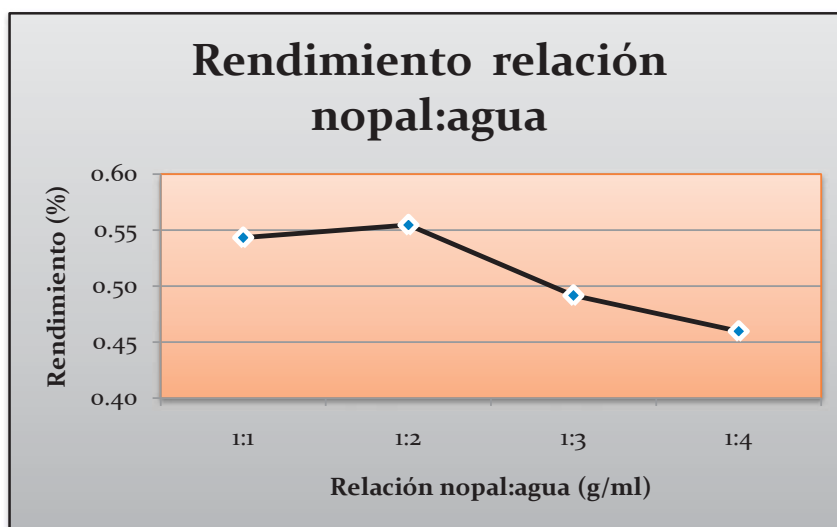
8.0. RENDIMIENTOS DE LA RELACIÓN DE AGUA: NOPAL

A continuación se muestran los resultados de esta prueba realizada para optimizar la metodología en la obtención del mucílago de nopal en polvo. Se tomó en cuenta que cada muestra de nopal en fresco pesaba 200 g, los cuales representarían el 100%, y el peso del mucílago en polvo obtenido, para obtener el porcentaje del mucílago.

Tabla 10. Resultados del rendimiento de la relación nopal:agua

Relación g de nopal:agua	Rendimiento
1:1	0.54%
1:2	0.55%
1:3	0.49%
1:4	0.46%

Como se muestra en la figura 34, el rendimiento mayor se dió en la relación de 1:2 con un 0.55%, después la relación de 1:1 con 0.54%, luego la relación 1:3 con 0.49% y por último la relación de 1:4 con 0.46%, observado esto se tomó en cuenta la relación 1:2 para la optimización de la extracción de mucílago de nopal.

**Figura 34. Gráfica del rendimiento de la relación nopal:agua**

8.1. RENDIMIENTOS DE LA RELACIÓN DE ETANOL: NOPAL

Se obtuvieron los precipitado resultantes de la relación mucílago líquido:etanol; como se había mencionado anteriormente, las relaciones que se manejaron fueron de 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4, con base a los mililitros de la mezcla de mucílago líquido con agua y los mililitros de etanol, respectivamente.

En la relación (1:1) resultó muy poco mucílago precipitado; por lo tanto se descartó esta relación; en la relación (1:2) se logró un mayor precipitado, no obstante, se apreció visualmente que casi la mitad de la mezcla de mucílago con agua quedó aun sin precipitar; en la relación (1:3) la precipitación del mucílago se observó más pero aun se percibió que faltó mayor precipitación, y por último se llegó a la relación (1:4), en la cual tuvo una mayor precipitación, observándose aun mucílago en la solución. Por consiguiente la relación 1:4 de etanol se tomó como la mejor opción para la obtención de más precipitado y por consecuencia una mayor obtención de rendimiento.

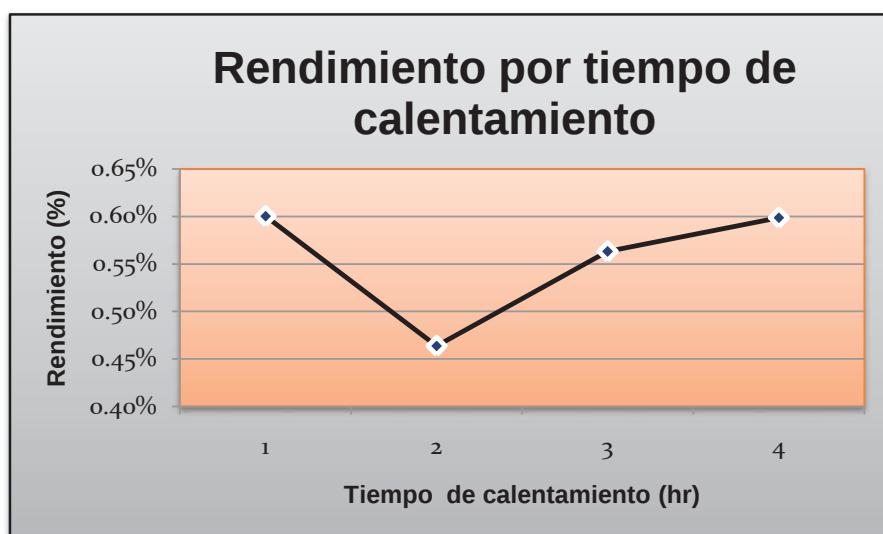
8.2. TIEMPO DE CALENTAMIENTO

Las mismas muestras con las relaciones de inicio se calentaron a 4 diferentes tiempos: 1, 2, 3 y 4 h. Cada vez que el tiempo aumentó la muestra se tornó más oscura y más espesa por la pérdida de agua.

En la obtención del rendimiento se tomó en cuenta el peso de la muestra, el cual fue de 163.12 g, y el peso del mucílago en polvo. Los resultados fueron los siguientes: 1) el mejor rendimiento (tabla 11 y figura 35) se obtuvo en la primera prueba de 1h de calentamiento, el cual fue de 0.60% de mucílago de nopal en polvo; no obstante, la prueba de 4h casi se acercó a este valor, con 0.5985%, sin embargo, el primero fue un poco más alto y por eso se tomó esa constante para la optimización del método de extracción, debido a que es menor tanto el tiempo de calentamiento, como la energía de calentamiento usada y se reflejaría en costos de operación para la metodología, ya que siempre se debe tener en cuenta si el proceso que se está optimizando es más rentable que el que se proponía. Los otros resultados de esta prueba fueron: a las 2h fue de 0.46% y a las 3h fue de 0.56%. 2) La temperatura fue un parámetro que también se modificó ya que se observó que la que se utilizaba en el método propuesto podía llegar a quemar el mucílago debido a la alta temperatura que se manejaba y los tiempos largos de exposición a la misma, alterando sus características químicas, así que se bajó de 90 °C a 82 ± 2 °C.

Tabla 11. Rendimiento por tiempo de calentamiento

Tiempo de calentamiento (h)	Rendimiento (%)
1	0.60
2	0.46
3	0.56
4	0.59

**Figura 35. Gráfica del rendimiento por tiempo de calentamiento.**

8.3. RENDIMIENTO DE ACUERDO AL pH

Como se hizo con los rendimientos anteriores, en esta prueba se tomo en cuenta el peso de la muestra, el cual fue de 200 g, y el peso del mucílago en polvo obtenido.

El mejor rendimiento se obtuvo a pH 1, pero se observó que el mucílago obtenido era diferente a los demás, tanto en su color como en su textura; lo anterior puede ser debido a que a un valor de pH muy ácido, el mucílago se vio afectado y se hidrolizó, en productos de desdoblamiento de la pectina original, y unidades de ácido galacturónico, los cuales son lo que hacen que el mucílago

cambie en sus características. La bibliografía reporta que a menor pH se obtendría mayor rendimiento, ya que la pectina es mas soluble a pH ácido, no obstante, como se muestra en la Tabla 12 y la Grafica 36. En las pruebas que se realizaron al mucílago, los resultados fueron distintos.

Debido a esto se optó por considerar el segundo mayor rendimiento en la obtención del mucílago en polvo, el cual fue en el pH inicial del nopal, 4.45.

Tabla 12. Rendimientos de las pruebas de acuerdo al pH

pH	Rendimiento (%)
4.45	0.70
4	0.60
3	0.45
2	0.65
1	0.91

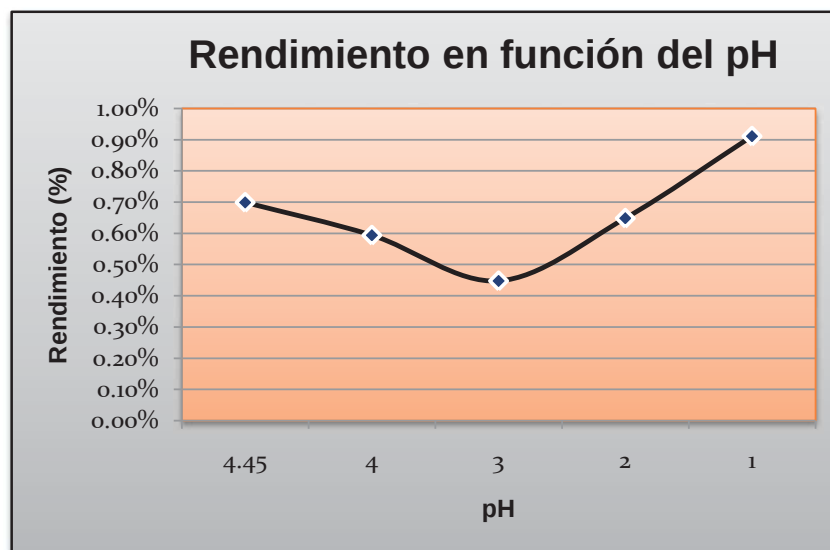


Figura 36. Gráfica de rendimiento de acuerdo al pH.

8.4. RENDIMIENTOS DE LAS EXTRACCIONES DE MUCÍLAGO EN LOTES GRANDES

Posterior al perfeccionamiento del método de extracción del mucílago de nopal, se realizaron 2 grandes lotes de nopal en fresco y se logró obtener una gran cantidad de mucílago en polvo con los cambios efectuados en la metodología.

8.4.1. 1^{ra} EXTRACCIÓN

En la primera extracción, el peso de nopal fue de 4.08 Kg, y se obtuvieron 24.01 g de mucílago en polvo puro. El rendimiento fue obtenido de acuerdo al peso del nopal en fresco y el peso del mucílago en polvo obtenido.

8.4.2. 2^{da} EXTRACCIÓN

El rendimiento en el 2^{do} lote fue de 0.49%, para obtener el resultado se tomaron en cuenta los mismos parámetros que en el primer lote. El peso de nopal en fresco utilizado fue de 13.22 Kg. Los rendimientos de ambos lotes oscilan entre el 0.60% por kg de nopal en fresco en el primer lote y de 0.50% por cada kg de nopal en fresco en el segundo lote. Aunque estos resultados se pudieron ver afectados por factores como: la edad del nopal, la pérdida de mucílago líquido en el proceso de extracción tanto en la molienda como en centrifugación, hasta en la precipitación con etanol. El rendimiento promedio en un estudio realizado en mucílago de nopal fue de 0.07%, en cladodios, y de 0.12% en la cascara de las frutas de *O. ficus-indica*. (Cárdenas y col., 1997). Otro estudio realizado por Grande y col., 2004 llamado “Efecto de cambios conformacionales del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en solución sobre la resistencia al flux de membrana de ultrafiltración” señala que el rendimiento de mucílago oscila entre 1-4 g/kg de nopal, es decir, de 0.10 a 0.40%. Cai y col., (2007) señalan que su mayor rendimiento de mucílago fue de 0.61%, a 80 °C.

8.5 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL MUCÍLAGO DE NOPAL

Además de ser una fuente rica de fibra dietética; en su mayoría fibra soluble, el mucílago también está conformado de carbohidratos, es rico en minerales, proteínas y pectina; también contiene la grasa pero en cantidades muy

pequeñas, el cual se considera como despreciable; los resultados del análisis bromatológico que se le aplicó a la muestra de mucílago de nopal en polvo se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis bromatológico del mucílago de nopal en polvo.

Análisis	Composición (%)
Humedad	8.03
Cenizas	11.91
Fibra dietética total:	60.34
❖ Fibra soluble	59.31
➤ Pectina	2.51
❖ Fibra insoluble	1.03
Extracto etéreo	0.03
Carbohidratos totales	13.00
Proteína	6.69

8.6 RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD DEL MUCÍLAGO DE NOPAL

La viscosidad de las suspensiones de mucílago de nopal se midió tomando en cuenta 3 factores: i) tiempo, ii) concentración y iii) velocidad de corte. Los resultados se muestran en las Tablas de la 14 a la 18 y en las Figuras de la 38 a la 48.

Tabla 14. Resultado de la viscosidad a 100 rpm del mucílago al 0.3% después de 15 y 30 min, respectivamente, de haberse preparado la solución

Mucilago de Nopal 0.3%	
100 rpm ↓ 15 min después	
Tiempo (min)	cP
0	1.03
5	0.97
10	0,96
15	0.97
20	0.97
25	0.96
30	1.01
35	1.01
40	1.01
45	1.02
50	1.06
55	1.05
60	1.03
65	1.05
70	1.02
75	1.03
80	1.04
85	1.05
90	1.04
	0.93 ND*

Mucilago de Nopal 0.3%	
100 rpm ↑ 30 min después	
Tiempo (min)	cP
0	1.08
5	1.01
10	1.00
15	0.99
20	1.00
25	1.01
30	0.99
35	1.00
40	1.03
45	1.01
50	0.99
55	1.01
60	0.96
65	0.96
70	1.02
75	1.05
80	1.07
85	1.05
90	1.06
	0.95 ND

*ND= No detectable por el equipo.

En valores de viscosidad menores a 0.93 cP y 0.95 cP el viscosímetro no tuvo la sensibilidad para detectar los valores generados por las viscosidades desarrolladas a partir de las suspensiones de mucílago.

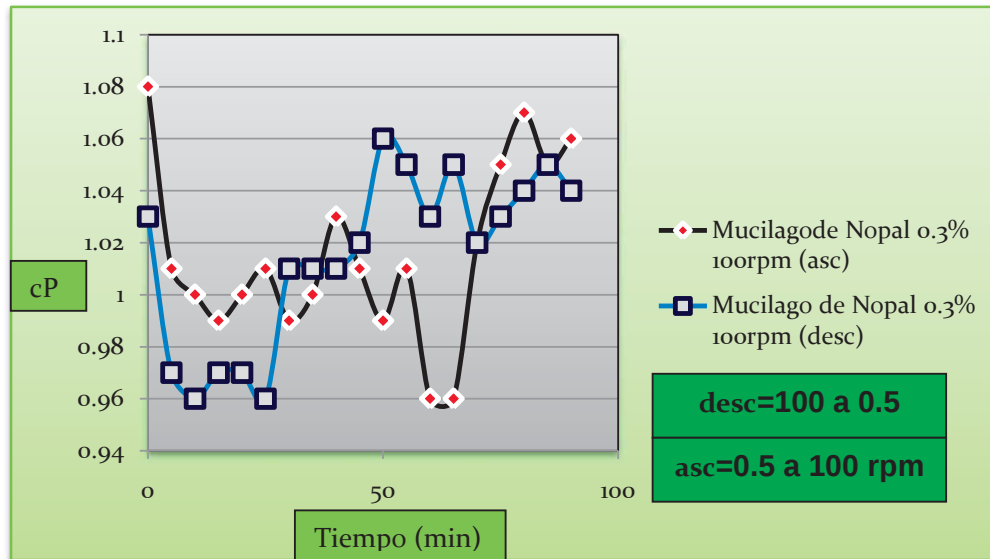


Figura 37. Gráfica de viscosidad del mucílago de nopal al 0.3%, a una velocidad de 100 rpm

Como se puede observar en la gráfica, los resultados de la viscosidad a esta concentración es muy baja, su lectura promedio fue de 1.015 cP para la velocidad ascendente de 0.5 a 100 rpm, y de 1.014 cP para la viscosidad con velocidad descendente de 100 a 0.5 rpm; aunque, para ambas muestras a 0.3% el viscosímetro sólo pudo leer a 100 rpm, debido a que es una concentración muy baja.



Figura 38. Suspensiones de mucílago de nopal al 0.3%.

Tabla 15. Resultado de la viscosidad a 100 rpm del mucílago al 0.5% después de 10 min de haberse preparado la solución

Mucilago de Nopal 0.5%		Mucilago de Nopal 0.5%	
100 rpm ↓ 10 min después		100 rpm ↑ 10 min después	
Tiempo (min)	cP	Tiempo (min)	cP
0	1.13	0	1.04
5	1.10	5	0.99
10	1.15	10	1.04
15	1.17	15	1.07
20	1.18	20	1.09
25	1.20	25	1.13
30	1.20	30	1.11
35	1.21	35	1.12
40	1.23	40	1.14
45	1.21	45	1.15
50	1.22	50	1.21
55	1.24	55	1.21
60	1.27	60	1.19
65	1.29	65	1.23
70	1.26	70	1.23
75	1.28	75	1.26
80	1.30	80	1.27
85	1.33	85	1.30
90	1.34	90	1.30
	*0.92 ND		*0.92 ND

Las muestras de esta prueba al 0.5% de concentración de mucílago en solución de agua destilada, muestran que la viscosidad continua muy baja, y como en las muestras anteriores la lectura del mucílago se vio afectada cuando la viscosidad fue menor a 0.92 cP en ambas muestras.

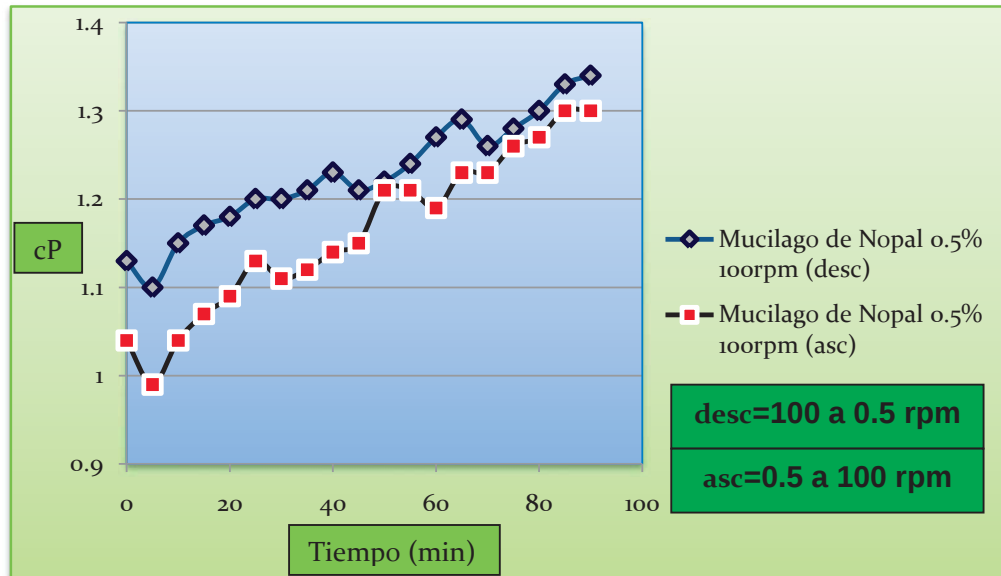


Figura 39. Gráfica de viscosidad del mucílago a 0.5% en agua destilada, velocidad de 100 rpm.

Esta gráfica muestra la lectura de mucílago al 0.5% a velocidades de 0.5 a 100 rpm y de 100 a 0.5 rpm; como se logra ver en ambas muestras, las viscosidades fueron parecidas a las primeras muestras de mucílago medidas a 0.3%, la lectura promedio de viscosidad en la velocidad ascendente fue de 1.30 cP y en forma descendente fue de 1.226 cP. Al igual que en la concentración de 0.3% de mucílago el viscosímetro solo leyó a 100 rpm.



Figura 40. Suspensión de mucílago de nopal al 0.5%.

después de 10 min de haberse preparado la solución

Mucilago de Nopal 1%		
100 rpm ↑ 10 min después		50 rpm
Tiempo (min)	cP	cP
0	1.31	3.26
5	1.06	3.37
10	1.12	3.62
15	1.17	3.64
20	1.21	3.61
25	1.25	3.64
30	1.28	3.57
35	1.29	3.55
40	1.27	3.65
45	1.37	3.63
50	1.36	3.67
55	1.37	3.72
60	1.43	3.59
65	1.47	3.65
70	1.50	3.65
75	1.53	3.67
80	1.55	3.68
85	1.56	3.67
90	1.60	3.67
	*0.92 ND	*2.92 ND

Mucilago de Nopal 1%		
50 rpm ↓ 10 min después		100 rpm
Tiempo (min)	cP	cP
0	3.43	1.27
5	3.57	1.30
10	3.58	1.33
15	3.62	1.41
20	3.64	1.43
25	3.69	1.40
30	3.75	1.45
35	3.64	1.45
40	3.72	1.46
45	3.75	1.47
50	3.76	1.49
55	3.84	1.50
60	3.64	1.59
65	3.73	1.61
70	3.76	1.62
75	3.79	1.63
80	3.85	1.66
85	3.75	1.68
90	3.75	1.69
	*2.93 ND	*0.92 ND

En la prueba al 1% de concentración de mucílago en solución de agua destilada, las muestras tienen una viscosidad un poco más alta, pero todavía continua muy por debajo de lo esperado, mayor a 100 cP, las muestras se vieron afectadas cuando la viscosidad fue menor a 0.92 cP a 50 rpm y a 2.92 cP a 100 rpm.

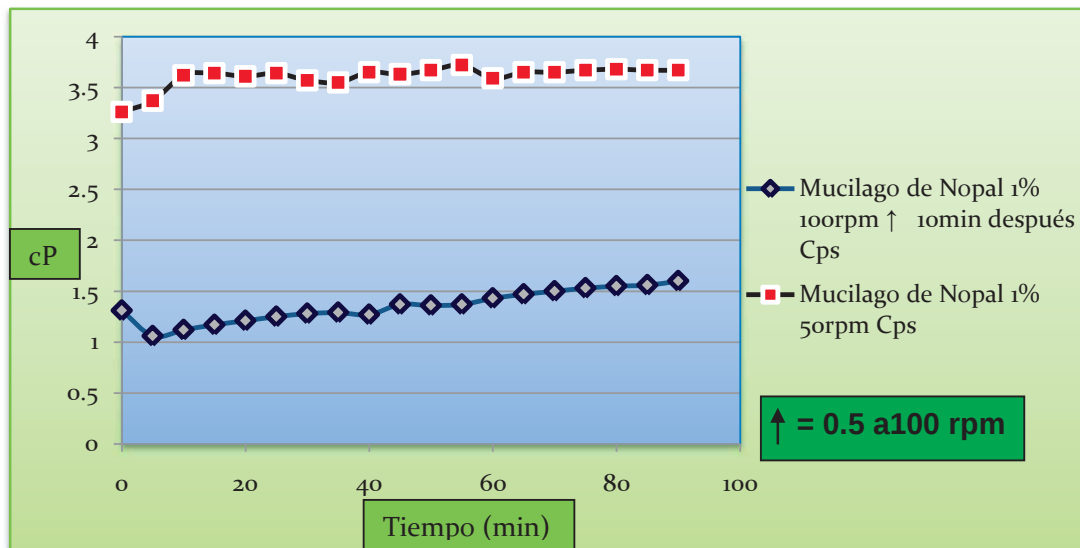


Figura 41. Gráfica de viscosidad del mucílago a 1% en agua destilada, velocidad ascendente de 50 y 100 rpm.

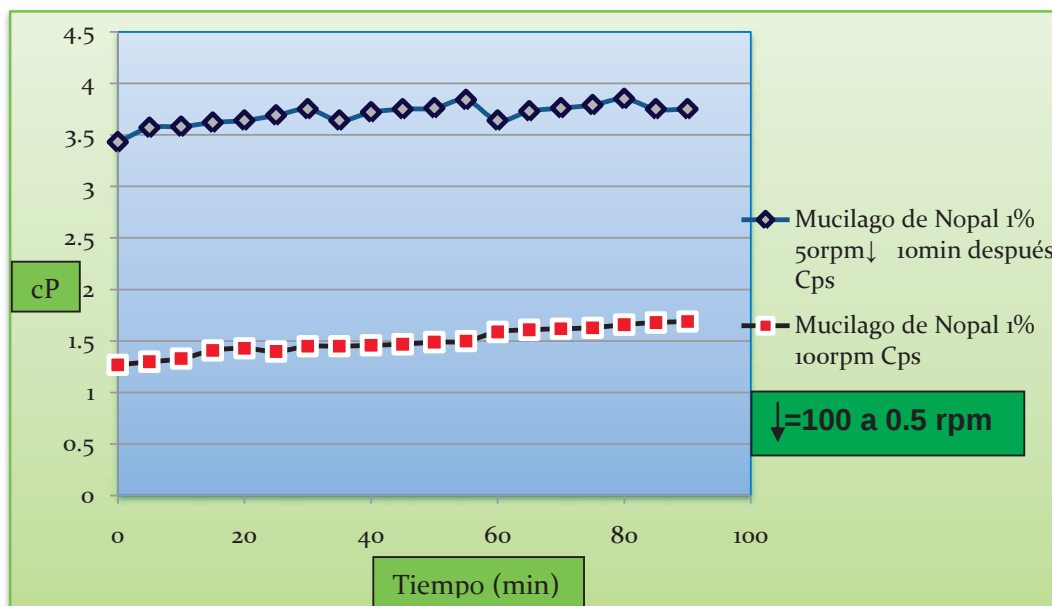


Figura 42. Gráfica de viscosidad del mucílago a 1% en agua destilada, velocidad descendente 100 y 50 rpm.

En las gráficas 42 y 43 se muestran las lecturas de las suspensiones de mucílago al 1% medidas a dos velocidades, 100 y 50 rpm, en forma ascendente y descendente; las viscosidades siguieron bajas y parecidas a las de 0.3% y 0.5%, pero a diferencia de éstas el viscosímetro pudo leer a dos velocidades diferentes, 50 y 100 rpm; la lectura promedio de viscosidad en la velocidad ascendente a 50 rpm fue de 3.605 cP y a 100 rpm fue de 1.352 cP,

para la forma descendente a 100rpm la viscosidad promedio fue de 1.496 cP y para 50 rpm fue de 3.697 cP, en los resultados de la viscosidad comparando de forma ascendente con la descendente se alcanza a notar que hay una pequeña diferencia en las lecturas.



Figura 43. Suspensión de mucílago de nopal al 1%.

Tabla 17. Resultado de la viscosidad a 20, 50 y 100 rpm del mucílago al 3% inmediatamente preparada la solución

Mucilago de Nopal 3%			
	20 rpm	50 rpm	100 rpm
Tiempo (min)	cP	cP	cP
0	4.83	5.77	6.54
5	11.8	5.14	7.25
10	10.5	5.16	7.19
15	8.76	5.17	7.26
20	7.84	5.08	7.24
25	7.20	4.93	7.25
30	6.84	5.14	7.28
35	6.89	5.27	7.32
40	6.65	5.23	7.26
45	6.58	5.04	7.19
50	6.47	5.25	7.28
55	6.17	5.23	7.31
60	5.53	5.23	7.36
65	5.20	5.16	7.46
70	6.51	5.14	7.54
75	7.03	5.18	7.57
80	7.31	5.15	7.57
85	7.39	5.19	7.65
90	7.54	5.18	7.71
	*4.52 ND	*4.76 ND	*4.76 ND

Cuando las muestras se leyeron a una concentración de 3% de mucílago en solución de agua destilada, mostraron una viscosidad mayor, llegando hasta un valor de 12 cP; cabe mencionar que las muestras se vieron afectadas cuando la viscosidad fue menor de 4.52 cP a 20 rpm, y 4.76 cP a 50 rpm y 100 rpm.

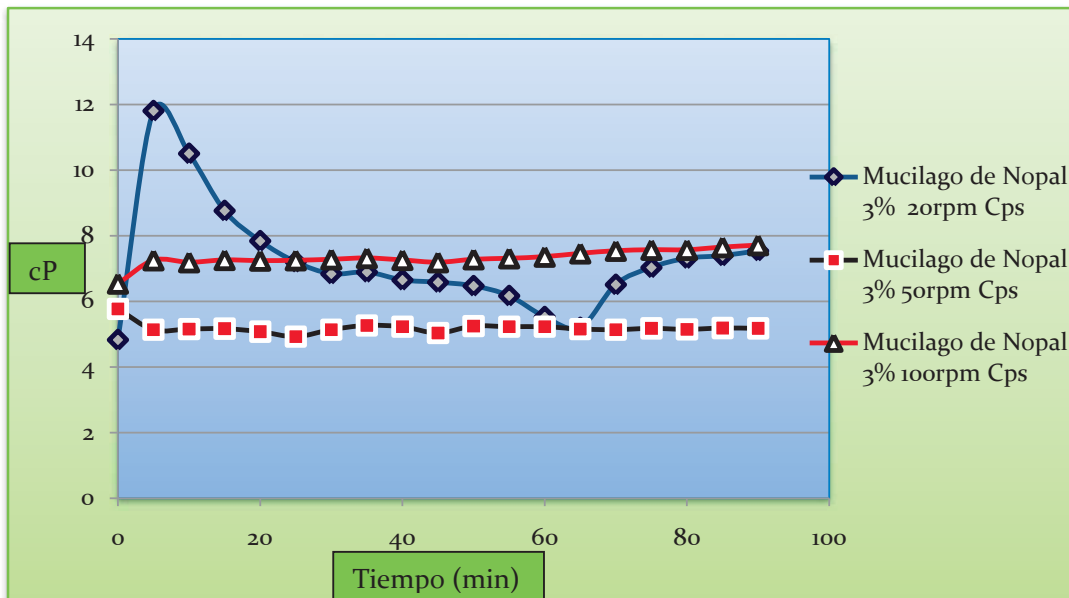


Figura 44. Gráfica de viscosidad del mucílago al 3% en agua destilada, velocidades de 20, 50 y 100 rpm.

En ésta gráfica se muestran las lecturas de mucílago al 3% a velocidades de 20, 50 y 100 rpm; las viscosidades ya fueron mayores; a diferencia de la pasada concentración, el viscosímetro llegó a leer tres velocidades diferentes, 20, 50 y 100 rpm; las lecturas promedio de viscosidades en la velocidad de 20 rpm fue de 7.212 cP, a 50 rpm fue de 5.191 cP y a 100 rpm fue de 7.327 cP.



Figura 45. Suspensión de mucílago de nopal al 3%.

Tabla 18. Resultado de la viscosidad a 4, 5, 10, 20, 50 y 100 rpm del mucílago al 8% inmediatamente preparada la solución

Mucilago de Nopal 8%						
	4 rpm	5 rpm	10 rpm	20 rpm	50 rpm	100 rpm
Tiempo (min)	cP	cP	cP	cP	cP	cP
0	42.40	147.7	94.1	44.1	63.3	45.1
5	102.2	136.4	91.4	40.3	59.8	35.1
10	129.3	135.4	91.0	39.5	63.4	35.9
15	168.5	128.1	91.8	49.6	58.6	35.1
20	140.8	128.9	91.4	44.3	58.6	38.1
25	136.8	129.0	92.1	44.0	59.1	35.1
30	136.3	129.1	90.7	40.4	58.2	36.9
35	134.8	129.8	92.1	40.2	61.6	35.8
40	139.3	129.3	93.9	38.8	66.0	36.4
45	141.6	129.5	94.3	38.9	64.9	38.1
50	147.5	129.5		40.6	65.3	37.7
55	151.5	128.0		40.3	66.3	37.9
60	151.5	127.6		40.2	64.0	36.9
65	148.3	127.7		40.1	63.5	37.8
70	146.6	125.5		40.2	62.7	37.5
75	154.4	125.6		40.5	63.5	38.7
80	159.5	126.9		41.1	63.1	38.9
85	154.3	126.3		41.2	63.8	37.7
90	170.2	127.4		41.4	63.8	38.1
Aguja 1			Aguja 2		Aguja 3	
*100% viscosidad cuando llega a los 94.3 cP a las 10 rpm						

En la Tabla 18 se muestra ya la viscosidad en la concentración final del mucílago de nopal, la cual fue de 8%; las lecturas a esta concentración ya son mucho más altas; las muestras pasaron por tres agujas para su lectura, empezando con la más gruesa hasta terminar con una aguja más delgada para la velocidad de corte. Cabe destacar que también a esta concentración la muestra llega a un 100% de viscosidad cuando la lectura llegó a 94.3 cP en una velocidad de 10 rpm, es debido a eso que las lecturas no llegaron al tiempo establecido de 90 min para cada velocidad.

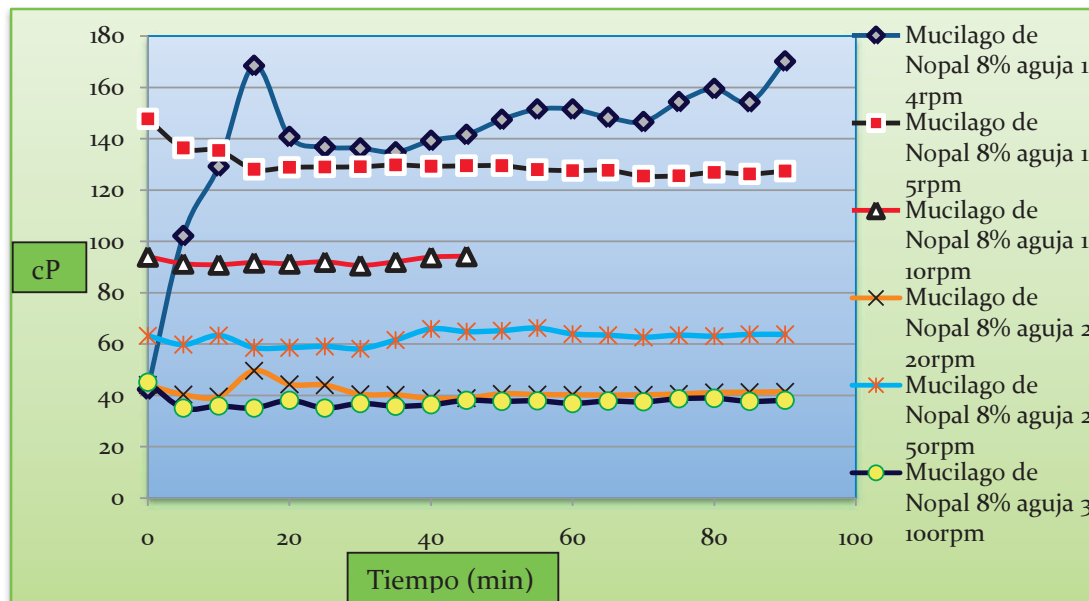


Figura 46. Gráfica de viscosidad del mucílago al 8% en agua destilada, velocidades de 4, 5, 10, 20, 50 y 100 rpm.

La gráfica nos muestra las lecturas de mucílago al 8%, la cual es la concentración final del mucílago en la solución con agua destilada, las velocidades a las cuales el viscosímetro pudo leer fueron a: 4, 5, 10, 20, 50 y 100 rpm. La viscosidad obtenida en la primera velocidad de 4 rpm es la más alta de todas, y la que muestra un comportamiento diferente, ya que las demás muestran una forma continua y semejante entre cada espacio de tiempo, pero lo más importante es que se llegó a una viscosidad del 100% a una velocidad de 10 rpm; las lecturas promedio muestran viscosidades para cada velocidad y fueron de: 139.77 cP a 4 rpm, 129.87 cP a 5 rpm, 92.3cP a 10 rpm, 41.40 cP a 20 rpm, 62.60 cP a 50 rpm y 37.50 cP a 100 rpm.



Figura 47. Suspensión de mucílago de nopal al 8%.

8.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los resultados obtenidos en la prueba reológica de viscosidad se le realizó un análisis estadístico, con el fin de conocer como se comportaban las muestras a diferentes concentraciones, y de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico se puede concluir que al realizar el estudio de los datos de las muestras a concentraciones de: 0.3%, 0.5%, 1%, 3% y 8% muestra que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de 1%, 3% y 8% pero que no existe tal en las muestras 0.3% y 0.5% con respecto a la de 1% ya que estas al ser analizadas con las demás muestras son iguales a la de 1%, sin embargo si estas 3 primeras muestras se analizan por separado se observa que si existe una diferencia estadísticamente significativa; en las figuras 49 y 50 se muestran estos resultados de las pruebas de Anova y Tukey. En la muestra con la concentración a 8% se hizo el análisis entre las revoluciones de corte para conocer como se comportaba, los resultados fueron que en 4 y 5 rpm se comporta igual, así como en 20 y 100 rpm, esto quiere decir que entre estas no existe una diferencia estadísticamente significativa como lo hay entre 5, 50 y 100 rpm como se puede observar en la Figura 51, que se encuentra en la parte de anexos de este trabajo.

Al comparar las muestras al 1%, 3% y 8% a una velocidad de 50 rpm (ya que estas muestras fueron las únicas que dieron lectura a esta velocidad), se puede observar que la velocidad y la concentración muestran que si existe una diferencia estadística significativa, esto quiere decir que las muestras se comportaron diferente, Figura 52 de la parte de anexos del presente trabajo.

A la concentración de 3% se le realizó también el análisis, ya que junto con la concentración de 8% se observó que fue la que mejores lecturas proporcionó en la viscosidad, a esta concentración de 3% se nota que a 20 rpm y a 100 rpm no hay una diferencia estadística significativa, esto es que la muestra se comporta igual en estas dos velocidades, y con 50 rpm si hay diferencia estadística significativa, Figura 53. Al final, en la parte de anexos, se muestran las gráficas (48-53) en las que se observan los comportamientos en cada análisis para las diferentes concentraciones.

IX. CONCLUSIONES

Se logró optimizar la metodología para la extracción de mucílago de nopal, las condiciones más adecuadas para la extracción son: una relación de mucílago:agua destilada, de 1:2 respectivamente, un calentamiento de $82^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante una hora, una centrifugación a 3500 rpm durante 20 min y usar una relación de 1:4, mucílago:etanol 96°Gl respectivamente, para la precipitación del mucílago.

También se observó que cuando se manejan grandes cantidades de nopal es mejor hacer la precipitación en lotes pequeños de no más de 2L , para que el etanol haga una mejor interacción con el mucílago líquido, ya que se logró ver que entre más mucílago líquido y más etanol se perdía mucílago a la hora de recuperarlo para secarlo.

Como lo marcaba en la bibliografía, se comprobó que el mucílago es una muy buena cantidad de fibra dietética (60.34%) , una alta cantidad de minerales (11.91%) y carbohidratos (13%), y una cantidad insignificante de grasas.

En la prueba de viscosidad los resultados arrojaron que la mejor concentración para usar el mucílago es al 8%, ya que las pruebas a concentraciones más bajas, 3%, 1%, 0.5% y 0.3%, son concentraciones a las cuales la viscosidad del mucílago son bajas para ser utilizado como aditivo, específicamente como espesante.

X. BIBLIOGRAFÍA

AACC, 2000. American Association of Cereal Chemists, Approved Methods 10th edition. Editado por la American Association of Cereal Chemists. Minneapolis, Min. USA.

Abraján, V.M.A. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. p 8, 10, 18, 23-25, 85-89.

(<http://dspace.upv.es/xmlui/bitstream/handle/10251/3794/tesisUPV2920.pdf?sequence=1>)

Consultada en día: 21/12/09.

Aguilar, S. L., Martínez, D.M.T., Barrientos, P.A.F., Aguilar, G.N., Gallegos, V.C. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopales, 2007. Universidad Autónoma de Chapingo. p 165-184.

Arizmendi, C.D. 2004. "Optimización de dos compuestos plastificantes (glicerol y polietilenglicol) en la elaboración de una película plástica comestible obtenida a partir del mucílago de nopal de la especie *opuntia tomentosa* salm-dyck". Universidad autónoma del estado de México. México, D.F.

(http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_04h.asp?page=04e12)

Consultada el día: 21/11/09.

Badui, D.S. Química de los alimentos. 1999. Longman de México editores, S.A de C.V. Pearson Educación. México 10.3.1:501-513.

Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. 2ª ed. Vol.1, U.N.A.M. México.

Cai, W., Gu, X., Tang, J., 2007. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. p 403. Disponible en:

www.sciencedirect.com

Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. y. Goycoolea, F. M., 1997. Rheology and Aggregation of Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Mucilage in Solution. Hermosillo, Sonora. Mexico. p 154.

Clegg. K.M., 1956 Analysis for starch and sugar content of roots. A modified Anthrone-Sulfuric Acid method. Journal of the Science-Food and Agriculture. 7:40.

Ferrer, L. B., Dalmau, S. J., Alimentos funcionales: probióticos. Acta pediátrica española, vol. 59, núm. 3, Hospital infantil “La Fe”, Valencia, España, 2001. p 150. Disponible en:

www.educapalimentos.org/site/.../Alim%20funcional%20probioticos.pdf

Consultada el día: 17/05/10

Gibson, C. A., Nobel, S. P. 1990. The cactus primer. First Harvard University Press paperback edition. p 196, 197-199. Disponible en:

(<http://books.google.com.mx/books?id=B1NEgtRguQMC&pg=PA198&dq=cactus+mucilage&lr=&cd=2#v=onepage&q=cactus%20mucilage&f=false>).

Consultada el día: 28/04/10.

Granados, S. D, Castañeda P. A. D. 2000. El nopal. Historia, fisiología, genética, e importancia frutícola. Tercera reimpresión. México, D. F., Ed. Trillas. p 18, 21, 31, 72, 75.

Grande, P., Brito, E., Medina, L., Torrestiana, B., 2004. Efecto de cambios conformacionales del mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en solución sobre la resistencia al flux de membrana de ultrafiltración. Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, México., en coordinación con el Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, “E”, UNAM, México, D.F.

<http://www.avpap.org/documentos/donostia2004/alimentosfuncionales.pdf>

Consultada el día: 17/05/10

<http://www.copacabanarunners.net/esp-fibra.html>

Consultada el día: 13/01/10

<http://www.esquinamagica.com/articulos.php?idar=124&id1=4>

Consultada el día: 13/01/10

Lees, R., 1969. Manual de análisis de alimentos. Traducido del inglés por Marcos A. Zaragoza, Acribia. p 231.

Martínez-Flores, H.E., Figueroa, J.D.C. 2008 Capitulo I. La fibra dietética y su importancia en la salud humana. En: temas selectos en alimentos, nutrición y salud. Morevallado editores. p. 17-20.

Medina-Torres, L., Brito-De la Fuente, E., Torrestiana, S.B., 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). Food Hydrocolloids.

Méndez, G. S. de J. 2006. Principales usos y aprovechamiento del nopal en México. San Luis Potosí.

(http://oeidrus.zacatecas.gob.mx/oeidrus_zac/zacatecas/revista/VA4/Nopal3.htm).

Consultada el día: 04/03/10.

Muller, H. G., 1977. Introducción a la reología de los alimentos. Zaragoza, España. Ed. Acribia. p 13-14.

Orozco, A. C., Díaz, S. C., Ramírez V. D., Yáñez, F. J. 2007, Secado por Aspersión de Mucílago de Nopal. IX CONGRESO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS y V FORO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS. Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN. México, D.F. p 277.

Paredes, L. O. Guevara, L. F. Bello, P. L.A. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Primera edición. Ed. fondo de cultura económica. México, D.F., p 104.

Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., Devries, J.W., Furda, I. 1998. determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J Assoc. Offic. Anal. Chem.*, 71(5); 1017-1023.

Reza N. S., Flores E. A. L, Alonso N. M y Ramírez B. P.2005. Evaluación de Textura, Color y Aceptación del Nopalito variedad Milpa alta Escaldado, a Diferentes Tiempos de Inmersión en Solución de NaCl y CaCl₂, y Empacado a Vacío. CNA-14.Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. p 146. Disponible en:
(<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/ee-13-2005/index.html>).

Consultada el día: 21/12/09.

Ruiz, H. F., Guerrero, B. J. A. 2009. Aplicación de las películas comestibles a base de quimostato y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananasa*) en refrigeración. Tesis de maestría. Ciencia en alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Puebla., p 21-23.
(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mca/ruiz_h_f/capitulo3.pdf)

Consultada el día: 18/05/10.

Sáenz, C., Berger, H., Corrales, G.J., Galletti, L., García, C.V., Higuera, I., Mondragón, C., Rodríguez, A.F., Sepúlveda, E., Varnero, M.T., 2007. Utilización agroindustrial del nopal. Reimpresión. Boletín de servicios de la FAO 162. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma, Italia. p 2-3, 7, 11. Disponible en:
(http://books.google.com.mx/books?id=llaxlnmJiFoC&pg=PP13&lpg=PP13&dq=libro+utilizacion+industrial+del+nopal&source=bl&ots=AbJZx2Bl6s&sig=ox0vqoa-7T4oB0Prej6odDGevgM&hl=es&ei=x7rES7KHL0jQM8PSuJoO&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CAsQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false).

Consultada el día: 12/02/10.

Torres, S. P., Cedillo, A. L., 1996. La goma de nopal: una aportación para la conservación de arquitectura de tierra seca protegida por la techumbre. CNRPC-INAH.

Valdez, C. R. D., Blanco, M. F., Vázquez, A. R. E. y Magallanes, Q. R., 2008. Producción y usos del nopal para verdura. Edición especial No. 14. Revista de salud pública y nutrición. p 1,6-8.
<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-14-2008/index.html>

Consultada el día: 17/05/2010.

www.cervantese.com/brochures/Cactus-Max%20Folleto.doc

Consultada el día: 12/02/10.

XI. ANEXOS

11.0 ANEXO A.

RENDIMIENTO:

Relación nopal:agua (1:1)

Peso de muestra: 200 g

Mililitros de agua: 200

Peso de mucílago en polvo: 1.09 g

200 g – 100%

1.09 g – x% = 0.54%

Relación nopal:agua (1:2)

Peso de muestra: 200 g

Mililitros de agua: 400

Peso de mucílago en polvo: 1.11 g

200 g – 100%

1.11 g – x% = 0.55%

Relación nopal:agua (1:3)

Peso de muestra: 200 g

Mililitros de agua: 600

Peso de mucílago en polvo: 0.98 g

200 g – 100%

0.98 g – x% = 0.50%

Relación nopal:agua (1:4)

Peso de muestra: 200 g

Mililitros de agua: 800

Peso de mucílago en polvo: 0.92 g

200 g – 100%

0.92 g – x% = 0.46%

11.1 ANEXO B.**RESULTADOS:****1h**

Peso muestra=163.12 g

Peso de mucílago en polvo= 0.98 g

163.12 g –100%

0.98 g –x%= **0.60%**

2h

Peso muestra=163.12 g

Peso de mucílago en polvo= 0.76 g

163.12 g –100%

0.76 g –x%= **0.46%**

3h

Peso muestra=163.12 g

Peso de mucílago en polvo=0.92 g

163.12 g –100%

0.92 g –x%= **0.56%**

4h

Peso muestra=163.12 g

Peso de mucílago en polvo= 0.98 g

163.12 g –100%

0.98 g –x% = **0.60%**

11.2 ANEXO C.**RESULTADOS****pH 4.45 (pH inicial del nopal):**

Peso muestra=200 g

Peso de mucílago en polvo=1.40 g

200 g – 100%

1.40 g – x= **0.70%**

pH 4:

Peso de la muestra=200 g

Peso del mucílago en polvo=1.19 g

200 g –100%

1.19 g –x = **0.60%**

pH 3:

Peso de la muestra=200 g

Peso del mucílago en polvo=0.90 g

200 g –100%

0.90 g – x= **0.45%**

pH 2:

Peso de la muestra= 200 g

Peso del mucílago en polvo=1.30 g

200 g – 100%

1.30 g – x= **0.65%**

pH 1:

Peso muestra= 200 g

Peso de mucílago en polvo= 1.82 g

200 g – 100%

1.82 g – x= **0.91 %**

11.3 ANEXO D.**RESULTADOS****Rendimiento del 1^{er} lote de nopal**

Peso nopal= 4.08 kg

Peso mucílago en polvo= 24.01 g

4.08 kg – 100%

24.01g –x = **0.59%**

11.4 ANEXO E.**RESULTADOS****Rendimiento del 2^{do} lote de nopal**

Peso del nopal= 13.22 kg

Peso del mucílago =64.86g

13.22 kg –100%

64.86g –x = **0.49%**

11. 5 ANEXO F.**RESULTADOS****Rendimiento del lote adicional**

Peso del nopal= 0.854 kg

Peso del mucílago= 11.14 g

0.854 kg – 100%

11.14 g – x = **1.30%**

11.6 ANEXO G.**Resultados del Análisis Estadístico.**

Las gráficas siguientes muestran como se comportan las muestras, según los análisis estadísticos realizados, ANOVA y TUKEY, 2005.

Figura 48. Análisis estadístico de todas las concentraciones a 100 rpm

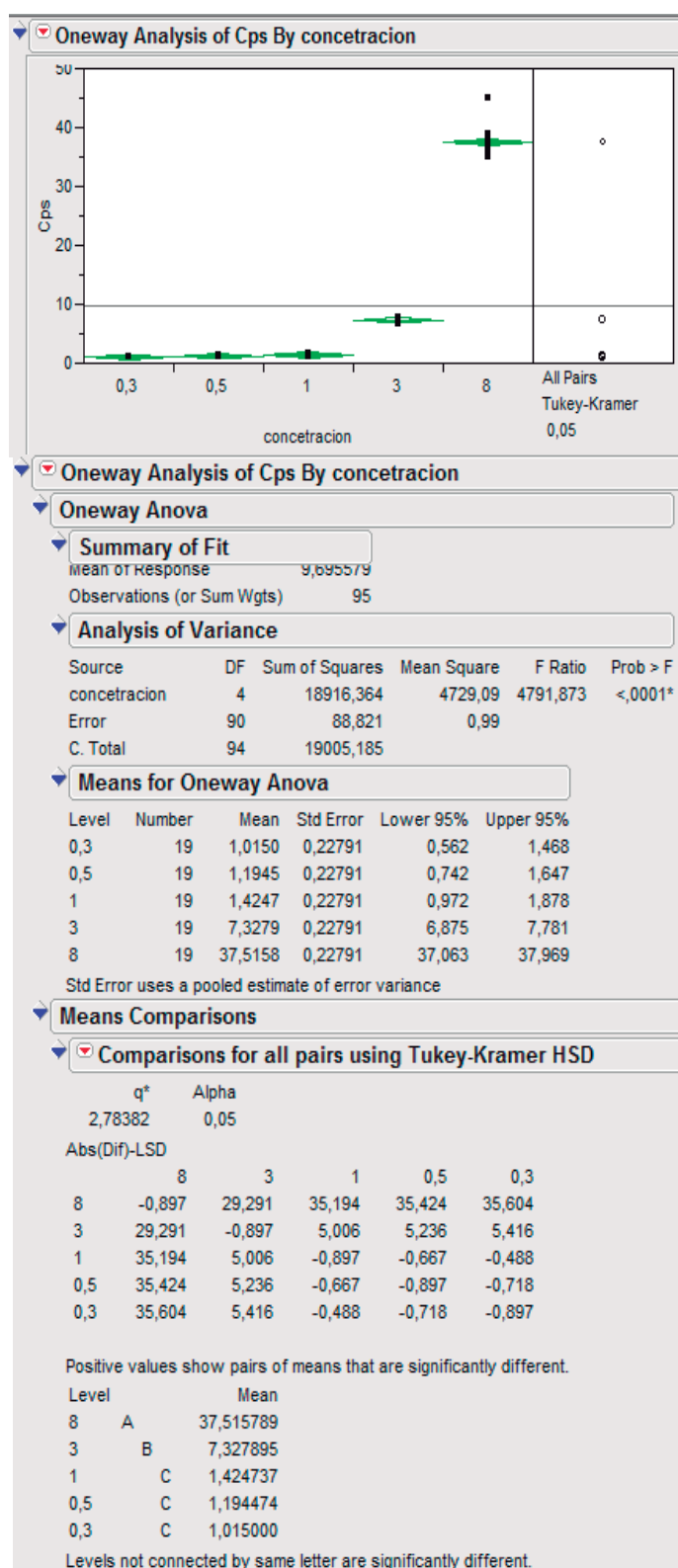


Figura 49. Análisis estadístico entre las concentraciones 0.3%, 0.5% y 1% a 100 rpm

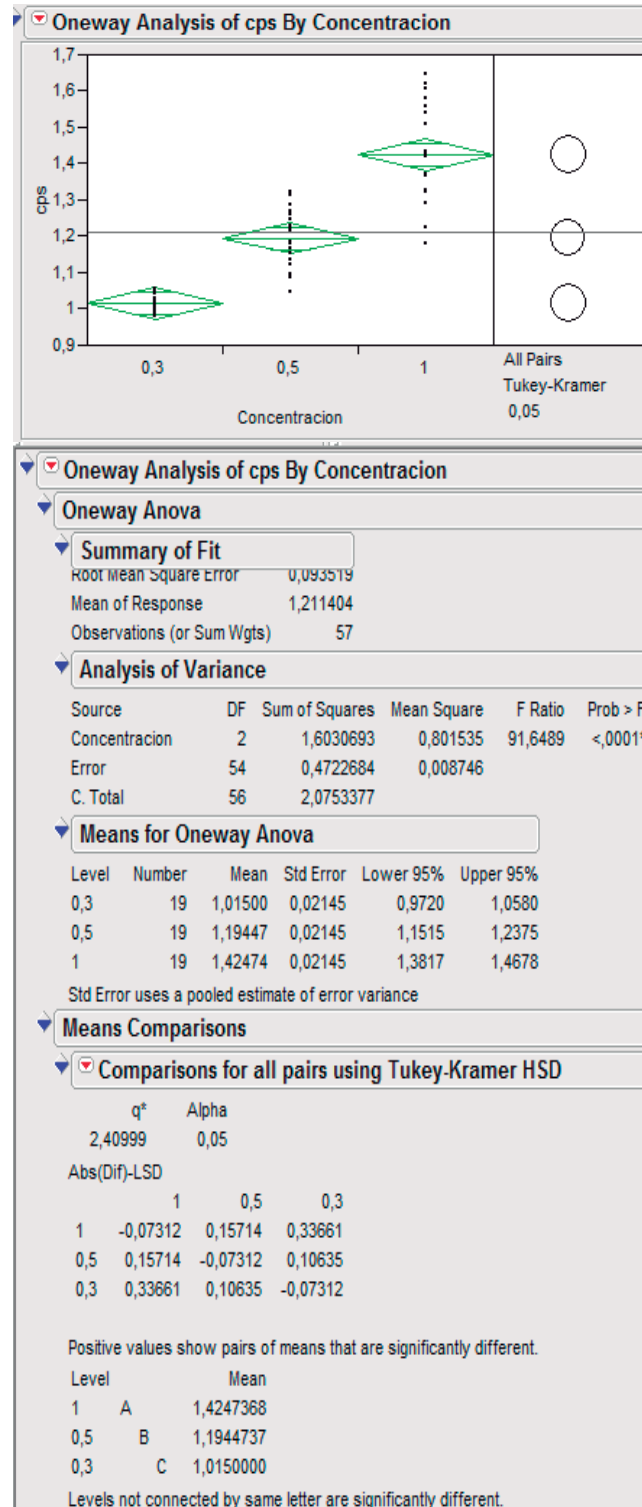


Figura 50. Análisis estadístico entre las diferentes velocidades a la concentración de 8%

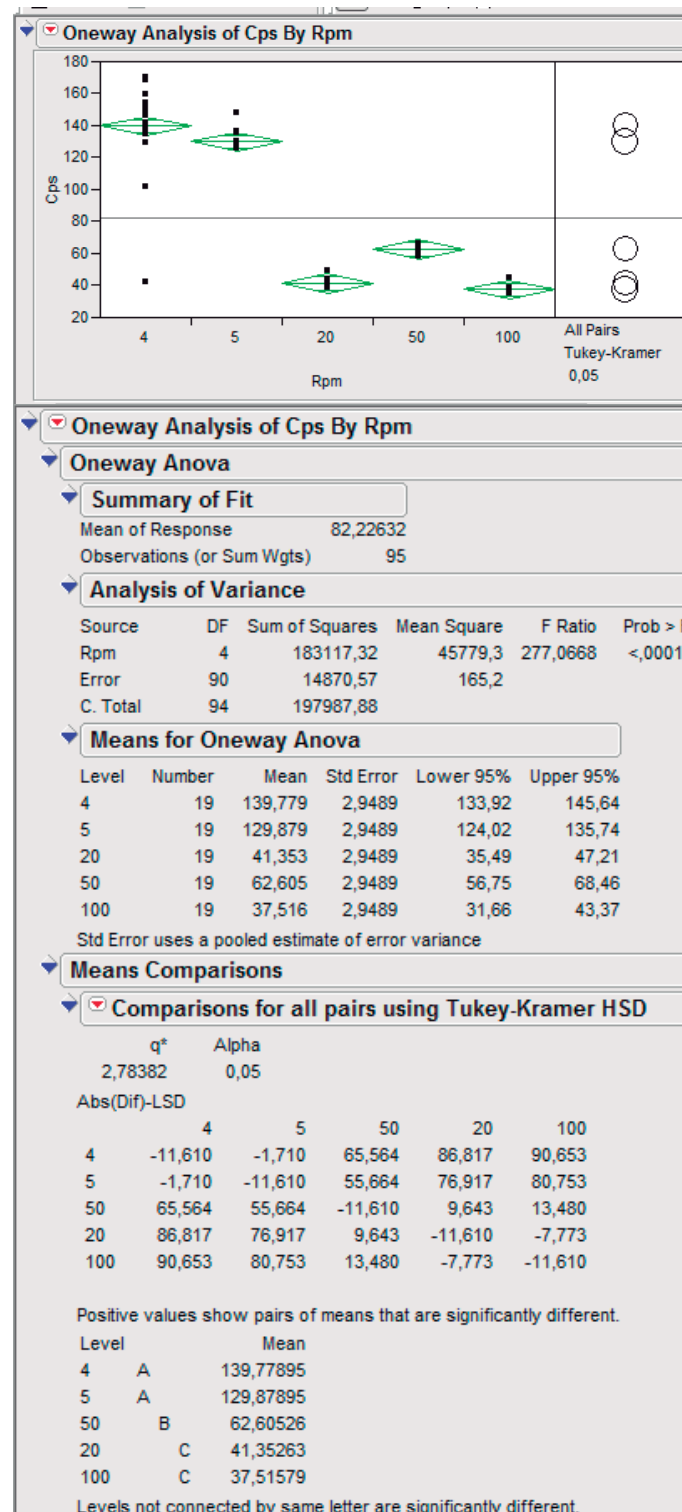


Figura 51. Análisis estadístico de las muestra al 1%, 3% y 8% a 50 rpm

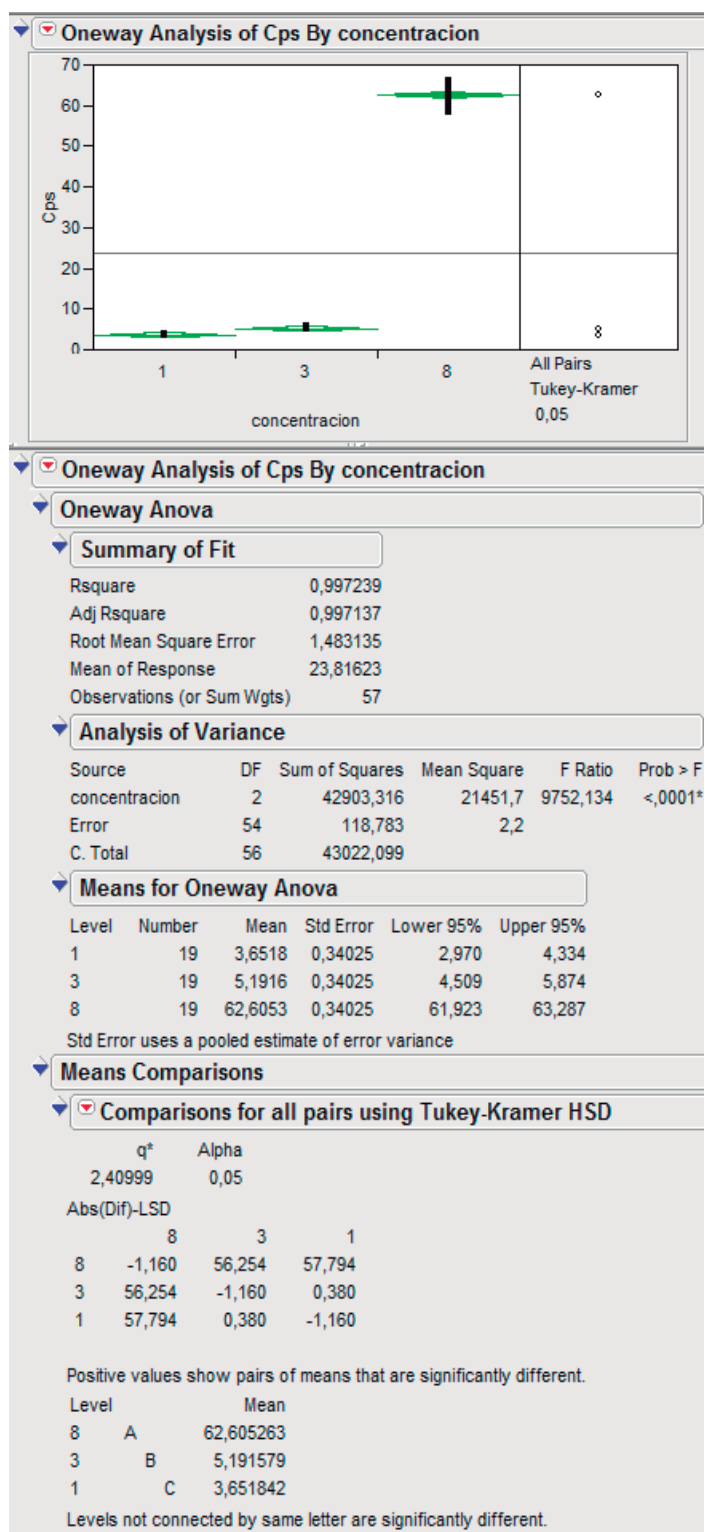


Figura 52. Análisis estadístico de la concentración al 3%

