



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA
(CICATA-UNIDAD LEGARIA)

POSGRADO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

“Caracterización de los Componentes de Naturaleza Polisacárida en
raíz de *Sechium edule* (Chinchayote)”

Tesis que para obtener el grado de maestra en tecnología avanzada presenta:

Wendy Magaly Arias Balderas

Directores de Tesis:

Dr. Miguel Ángel Aguilar Méndez

Dra. Delia Quintana Zavala

México, D.F., Diciembre de 2016.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 13:00 horas del día 16 del mes de Noviembre del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-Legaria para examinar la tesis titulada:
Caracterización de los Componentes de Naturaleza Polisacárida en raíz de *Sechium edule* (Chinchayote).

Presentada por el alumno:

Arias	Balderas	Wendy Magaly
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)
Con registro:		
A	1	5 0 1 9 7

aspirante de:

Maestría en Tecnología Avanzada

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Miguel Ángel Aguilar Méndez

Dra. Delia Quintana Zavala

Dr. Eduardo San Martín Martínez

Dra. Mónica Rosalía Jaime Fonseca

Dra. Rocío Guadalupe Casañas Pimentel



SEP
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA
CICATA - LEGARIA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dra. Mónica Rosalía Jaime Fonseca



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 16 del mes de Noviembre del año 2016, el (la) que suscribe Wendy Magaly Arias Balderas alumno(a) del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada, con número de registro A150197, adscrito(a) al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad- Legaria manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Miguel Ángel Aguilar Méndez y la Dra. Delia Quintana Zavala y cede los derechos del trabajo titulado Caracterización de los Componentes de Naturaleza Polisacárida en raíz de *Sechium edule* (Chinchayote), al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones wenarias55@gmail.com, miguel_agme@hotmail.com, deliaqz1@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Wendy Magaly Arias Balderas

DEDICATORIA.

A DIOS

Por permitirme concluir una etapa más de mi vida,
por darme salud, paciencia y persistencia para
obtener éste logro que significa mucho para mí.

A MIS PADRES

Por siempre confiar en mí, por brindarme todo su
apoyo y por darme la fuerza necesaria cada vez que
venía a mi mente el pensamiento de ya no poder,
por darme todo su amor y hacerme ver que era
capaz de lograr esto y mucho más.

A MIS HERMANOS

Sandy y Diego, que a su manera cada uno
me demuestra siempre lo mucho que me quieren
y lo importante que soy para ellos, que me dan
el ejemplo de luchar por lo que quiero y
a la vez soy un ejemplo también para ellos
cada vez que alcanzo una meta más.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, Dr. Miguel A. Aguilar Méndez, por guiarme a lo largo de esta aventura, por compartir conmigo sus conocimientos, orientarme y apoyarme en todas las etapas del proyecto, por no abandonarme y por ser más que un asesor, un amigo.

A mi asesora, Dra. Delia Quintana Zavala, por compartir conmigo el gusto que ambas tenemos por la química, por impulsarme y motivarme a aprender mas y mas cosas, por apoyarme en el proyecto y por darme tantas ideas para el desarrollo del mismo.

Al Instituto Politécnico Nacional, en especial a **CICATA-LEGARIA**, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado, por permitirme desarrollar mi proyecto de Investigación y por todo el apoyo brindado.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, en especial FESC- Campo 1, porque además de haberme dado la formación de Ingeniera en Alimentos, una vez más me abrió sus puertas, permitiéndome realizar alguna de mis pruebas de análisis para mi proyecto.

A la Dra. María Eugenia Ramírez Ortíz, porque a pesar de no haber sido una de mis asesores, siempre estuvo en plena disposición de apoyarme, por ayudarme en algunas pruebas de mi proyecto y por brindarme siempre su cariño, apoyo, confianza y creer en mí.

Finalmente, pero no por ello menos importante, **a mis amigos** Omar, Gerardo y Fabiola, que durante este tiempo, me mostraron su apoyo incondicional, su amistad, cariño y confianza, gracias por acompañarme en la aventura.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	X
SUMMARY	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
I. MARCO TEÓRICO.	15
1. CARBOHIDRATOS.	15
1.1 Clasificación de los Carbohidratos.....	15
1.2 POLISACÁRIDOS	18
1.2.1 FRUCTANOS.....	22
1.2.2 FIBRA DIETÉTICA.....	29
1.2.3 ALMIDÓN.	34
2 CHINCHAYOTE (Raíz de <i>Sechium edule</i>).	42
3 CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN.	45
3.1 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).	45
3.2 RVA (Análisis Rápido de Viscosidad).....	46
3.3 DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido).....	48
3.4 Pruebas Oscilatorias.	49
II. JUSTIFICACIÓN	51
2.1 OBJETIVOS:.....	52
2.2 Cuadro Metodológico.....	53
III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	54
3. Materiales y Métodos.	54
3.1 Reactivos:.....	54
3.3. Análisis Químico Proximal (AQP).....	55
3.4. Extracción y Determinación de Fructanos.....	57
3.5. Determinación de Fibra Dietética.	58
3.6. Extracción de Almidón.....	59
3.7. Determinación de Almidón Resistente (AR).	60
3.8. Caracterización de Almidón.....	61
3.8.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).	61
3.8.2. Análisis de RVA.	61
3.8.3. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	63
3.8.4. Pruebas oscilatorias.....	63

3.8.9. Pruebas de Análisis de Perfil de Textura (TPA).....	64
3.9 Aplicación del Almidón. Modificación Química.	65
3.9.1 Acetilación del Almidón de Chinchayote.	65
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.1 Acondicionamiento a Materia Prima.	67
4.1.1. Rendimiento en Tamizado.....	67
4.2. Análisis Químico Proximal (AQP).....	68
4.3 Extracción y Cuantificación de polisacáridos.....	69
4.3.1 Extracción y determinación de Fructanos.	69
4.3.2 Determinación de Fibra Dietética.	70
4.3.3 Extracción Alcalina de Almidón.....	71
4.4 Caracterización de almidón de Chinchayote.	72
4.4.1 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).	72
4.4.2 Cuantificación de Almidón Resistente (AR).....	74
4.4.3 Análisis de Viscosidad (RVA).....	75
4.4.4 Pruebas Oscilatorias.	76
4.4.5 Prueba de Perfil de Textura (TPA).....	86
4.5 Modificación de Almidón de Chinchayote. Acetilación.	89
4.5.1 Porcentaje de Acetilación y grado de Sustitución.	89
4.5.2 Análisis de Viscosidad RVA para almidón acetilado.....	90
4.5.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	91
4.5.4 FT-IR.....	94
V. CONCLUSIONES.....	96
VI. RECOMENDACIONES.....	98
VII. REFERENCIAS.	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de haworth y de silla para glucosa.	17
Figura 2: Representación gráfica de algunos disacáridos: a) maltosa, b) sacarosa y c) lactosa.....	18
Figura 3: Representación del polímero celulosa.....	20
Figura 4: Representación gráfica de glucógeno.....	21
Figura 5: Representación gráfica de quitina	22
Figura 6: Ejemplos de fructooligosacáridos.....	23
Figura 7: Tipo de Fructanos: a) Inulina, b) Neo-series de inulina, c) Levana, d) Fructanos de gramíneas.....	24
Figura 8: Representación gráfica de Almidón.....	35
Figura 9: Cadena de amilosa.....	35
Figura 10. Cadena de amilopectina.....	36
Figura 11: Zonas amorfa y cristalina dentro del gránulo de almidón.....	37
Figura 12: Gráfico obtenido por difracción de rayos X para almidón.....	38
Figura 13: Chinchayote.....	43
Figura 14: Formas y tamaños del Chinchayote durante el primer año.....	44
Figura 15: Perfil de Viscosidad Aparente de un RVA.....	47
Figura 16: Acomodo de chinchayote rebanado en charolas.....	54
Figura 17: Chinchayote molido y tamizado.....	55
Figura 18: Micrografía de la parte de fibra de chinchayote.....	72
Figura 19: Micrografía del almidón de chinchayote extraído.....	73
Figura 20. Gráfico comparativo de Viscosidad- Almidones.....	76
Figura 21: Gráfico de esfuerzo para almidón de chinchayote al 1 %.....	77
Figura 22: Gráfico de esfuerzo para almidón de chinchayote al 2 %.....	77
Figura 23: Gráfico de esfuerzo para almidón de maíz al 1 %.....	78
Figura 24: Gráfico de esfuerzo para almidón de maíz al 2 %.....	78
Figura 25: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 1 %.....	79
Figura 26: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 2 %.....	79
Figura 28: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 0.5 %.....	81
Figura 29: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 1 %.....	81
Figura 30: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 2 %.....	82
Figura 31: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de maíz al 1 %.....	82
Figura 32: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de maíz al 2 %.....	83

Figura 33: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 1 %.	83
Figura 34: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 2 %.	84
Figura 35: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 0.5 %.	85
Figura 36: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 0.5 %.	85
Figura 37: Gráfico de textura para almidones a las 48 hrs.	86
Figura 38: Gráfico de textura para almidones a los 8 días.	87
Figura 39. Gráfico comparativo de almidón de chinchayote nativo y acetilado.	90
Figura 40: Termograma de DSC para almidones de chinchayote, maíz y papa.	92
Figura 41. Análisis de FT-IR (absorbancia) para almidón de chinchayote nativo y almidón acetilado.	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Carbohidratos por número de unidad monoméricas.	16
Tabla 2: Tipos de disacáridos y características.	17
Tabla 3. Características de los polisacáridos	19
Tabla 4: Temperaturas de gelatinización para almidón de distintas fuentes.	39
Tabla 5. Composición Química de Chinchayote.	45
Tabla 6. Rendimientos de Harina de Chinchayote obtenido por tamizado.	67
Tabla 7: AQP completo, experimental y teórico para Chinchayote.	68
Tabla 8. Contenido de fructanos en distintos alimentos.	69
Tabla 9. Contenido de Fibra Dietética en distintos alimentos.	70
Tabla 10. Rendimientos de almidón para distintos alimentos.	71
Tabla 11. Características de gránulos de Almidón de distintas fuentes.	73
Tabla 12. Almidón resistente presente en distintos alimentos.	74
Tabla 13: Resultados de TPA para almidones a las 48 hrs y después de 8 días.	88
Tabla 14. Porcentaje y grado de sustitución obtenido en algunos almidones de distintas fuentes.	89
Tabla 15. Resultados de DSC para gelatinización de almidones de chinchayote, maíz, papa y acetilado.	93
Tabla 16: Resultados de DSC para temperatura de fusión de almidones de chinchayote, maíz, papa y acetilado.	93

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo por objetivo la extracción y caracterización de distintos tipos de polisacáridos; tales como: fructanos, almidón y almidón resistente presentes en chinchayote, los cuales representan gran importancia e interés en el campo de la salud debido a diversos beneficios que proporcionan gracias a su fermentación en el intestino grueso. Se realizó un Análisis Químico Proximal (AQP) a la raíz tuberizada de chayote (chinchayote). Posteriormente se realizó la extracción de los polisacáridos de interés: Fructanos por el método enzimático-colorimétrico 999.03 AOAC. Fibra dietética, con el método enzimático-gravimétrico 991.43 AOAC; Almidón con método alcalino y almidón resistente mediante el método enzimático-colorimétrico 2002.02 AOAC. Asimismo se llevó a cabo la caracterización morfológica, reológica y textural del componente mayoritario (almidón) y se hizo la comparación con almidones de papa y maíz. Finalmente se realizó una modificación en el almidón (acetilación). Con el análisis AQP se obtuvo que el componente mayoritario es agua, seguido de carbohidratos con un 18.83%. El contenido de fructanos fue de 2.78% en materia seca y el de fibra dietética de 3.84%. El rendimiento de almidón obtenido por extracción fue de 76.3%, del cual el 12.67% se caracterizó como almidón resistente. Las micrografías obtenidas mostraron que los gránulos de almidón presentan una forma esférica con tamaño entre 5 y 30 μ m, mientras que el análisis de viscosidad proporcionó un valor de casi 12000cp. En relación a las pruebas oscilatorias indican que el almidón tiene un comportamiento de gel fuerte al igual que el de papa y de gel débil para maíz en concentraciones al 1 y 2%. En cuanto a análisis de textura se observó un valor de dureza de 80gf, valor que es menor al obtenido para el de papa que fue de 150gf a las 48hrs de haber preparado los geles, éstos valores se vieron incrementados al realizar las mediciones 8 días después pero presentando la misma tendencia a la anterior. Con respecto a la modificación química realizada se obtuvo un grado de sustitución de 0,053 y un porcentaje de acetilación de 1.4; así mismo al realizarle el RVA, se observó un aumento en la viscosidad alcanzando los 16000cp y en cuanto al análisis de FT-IR del almidón modificado se corroboró la presencia de grupos acetilo en la cadena de este almidón, con lo que se confirma el grado de sustitución.

SUMMARY

This research project was aimed at the extraction and characterization of different types of polysaccharides; such as fructans, starch and resistant starch present in chinchayote, which represent great importance and interest in the health field because of various benefits provided by fermentation in the large intestine. Proximal an Analysis Chemical (AQP) to the following tuberized chayote (chinchayote) was performed. Subsequently extraction was performed polysaccharides of interest: fructans by enzymatic-colorimetric method AOAC 999.03. Dietary fiber, with the enzyme-gravimetric method AOAC 991.43; Starch and resistant starch alkaline method by AOAC 2002.02 Enzymatic colorimetric method. Also it carried out the morphological characterization, rheological and textural the major component (starch) and the comparison was made with potato and corn starches. Finally, a change was made in starch (acetylation). The analysis was obtained AQP the major component is water, followed by a 18.83% carbohydrates. The fructan content was 2.78% dry matter and dietary fiber 3.84%. The starch yield was obtained by extraction of 76.3%, of which 12.67% was characterized as resistant starch. The micrographs showed that the starch granules have a spherical shape with size between 5 and 30 μm , while the viscosity analysis gave a value of almost 12000cp. Regarding oscillatory tests indicate that the starch has a strong gel behavior like the potato and maize weak gel at concentrations at 1 and 2%. As for texture analysis a hardness value of 80g_f was observed value that is less than that obtained for potato which was 150g_f to 48hrs having prepared gels, these values were increased when performing measurements 8 days but showing the same tendency to the above. With regard to chemical modification I made a degree of substitution of 0.053 and a percentage of acetylation of 1.4 it was obtained; Likewise When performing the RVA, an increase in viscosity reaching 16000cp and as for the analysis of FT-IR of modified starch the presence of acetyl groups in the chain of this starch was confirmed, whereby the degree is confirmed it observed substitution.

INTRODUCCIÓN

Los carbohidratos al igual que los ácidos nucleicos y las proteínas forman parte de un grupo de moléculas biológicas, las cuales desempeñan funciones que permiten entender procesos biológicos básicos. Sin embargo, los carbohidratos presentan también un gran número de distintas funciones tan diversas como el reconocimiento molecular, la protección celular, la señalización celular, la adhesión celular, como lubricantes biológicos, en el control del tráfico de proteínas, así como la generación y almacenamiento de energía biológica. Además han despertado gran interés en su estudio, ya que además de ser parte fundamental en la dieta del ser humano por representar una de las principales fuentes de energía, se ha demostrado que en parte de ellos existen ciertos componentes que tienen una funcionalidad extra en el organismo y que representa ciertos beneficios a la salud o que pueden mejorar ciertas características en la matriz alimenticia a la que se añadan; tal es el caso de los polisacáridos, entre los que se encuentra el almidón, formado a partir de dos estructuras principales; amilosa y amilopectina, cuyas características principales son una cadena lineal con enlaces α -1,4-glicosídico en el caso de la primera y el mismo tipo de cadena además de presentar ramificaciones del tipo α -1,6-glicosídico para la segunda. Se han encontrado estudios en donde una parte del mismo almidón ha logrado resistir el proceso de digestión pasando intacto a intestino grueso, ésta porción del polisacárido se ha nombrado almidón resistente.

La fibra dietética es otro polisacárido de la misma naturaleza, posee un grado de polimerización mayor a 3 y no es metabolizado en el tracto digestivo, logrando su paso a intestino grueso donde es fermentado, algunos ejemplos son los fructooligosacáridos, galactooligosacáridos, pectinas, almidón resistente, inulina, etc (Noureddine, 2013).

Por último los fructanos son otros polímeros de carbohidratos que se encuentran en forma de reserva energética en diferentes plantas y alimentos, son polímeros de fructosa solubles en agua y algunos de ellos en etanol, hasta el momento se han encontrado cinco tipos de ellos: inulina, neoserias de inulina, levana, neoserias de levana y fructanos de gramíneas (Olagnero, 2007). En particular la **inulina** que es

un polímero constituido de aproximadamente el 95% de fructosa y 5% de glucosa unidas por enlaces β -(2-1) y β -(2-6) en forma lineal y ramificada, se ha demostrado que le sirve de reserva energética al ajo, la cebolla, la achicoria y a la alcachofa, y en el hombre funciona como fibra dietética y prebiótico.

Dichos polisacáridos tienen la característica de resistir el proceso de digestión en el intestino grueso, dejando su paso intacto a intestino delgado donde a su vez se fermentan por acción de las bacterias colónicas; algunos de ellos forman geles viscosos en el intestino favoreciendo la absorción de agua y sodio. La fermentación da lugar a la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Dando pasó con ello a los conocidos alimentos funcionales.

Por lo tanto ésta clase de polisacáridos ofrecen un efecto prebiótico al ser consumidos ya que cumplen con los criterios para poder denominarse de esa manera:

- No debe ser hidrolizado o absorbido en la parte alta del tracto digestivo;
- Debe ser fermentado selectivamente por una o un número limitado de bacterias potencialmente benéficas del colon, por ejemplo bifidobacterias y lactobacilos;
- Debe ser capaz de alterar la microflora colónica tornándola saludable, por ejemplo reduciendo el número de organismos putrefactivos e incrementando las especies sacarolíticas (Olagnero, et al, 2007).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingestión diaria de 27 a 40 gramos de fibra dietética mientras que Food and Drugs Administration (FDA) propone a individuos adultos un consumo de 25 gramos de fibra por cada 2000 kcal/día. La recomendación nutricional de Fructanos, Inulina y Oligofructosa posee diferencias actualmente. En Estados Unidos el consumo diario recomendado es de 1 a 4 g/día mientras que en Europa se sugiere un consumo de 3 a 11 g/día.

Así mismo en el caso específico del almidón, el cual es un compuesto que se ha estudiado a lo largo del tiempo y con mucho más énfasis en las últimas décadas,

proporciona ciertas funcionalidades al ser agregado a matrices alimenticias, modificando las características de la misma, por ejemplo: incrementando su viscosidad, formando geles, otorgando mayor estabilidad, etc, todo esto le da un valor agregado, ya que se incrementa la vida de anaquel de los productos industrializados que lo utilizan.

I. MARCO TEÓRICO.

1. CARBOHIDRATOS.

Los carbohidratos son biomoléculas de gran importancia en la alimentación ya que desempeñan diversas funciones entre las cuales están, proporcionar energía, funcionar como reserva energética, ser precursores de ácidos grasos, formar parte de los ácidos nucleicos e incluso en el caso de las plantas formar parte su estructura. Químicamente, “Son compuestos formados por Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, presentan la fórmula general $C_x (H_2O)_y$, y tienen estructura de polihidroxialdehído o de polihidroxiacetona; además, todos los carbohidratos presentan grupos funcionales $C=O$ o $-OH$ ” (Badui, 2010). Ésta estructura química determina las características y funcionalidad del carbohidrato en cuestión; por ejemplo: el sabor, color, la viscosidad, textura, etc, que pueda desarrollar.

La reserva de estos compuestos en los animales y en las plantas son respectivamente, el glucógeno y el almidón, polímeros de glucosa cuya combustión genera 4 kcal/g (17kJ/g).

1.1 Clasificación de los Carbohidratos.

Existen muy variadas maneras de clasificar a los Carbohidratos, entre ellas se encuentra la clasificación por número de átomos de Carbono, dando como resultado las triosas (3 átomos de Carbono), tetrosas (con cuatro Carbonos), pentosas, hexosas, etc. Así mismo existe otra clasificación, en la cual influye el grupo funcional predominante; dando Cetosas, si tiene como grupo funcional una cetona y aldosas si el grupo en su estructura es un aldehído. Una última clasificación muy utilizada incluso en el área de nutrición y que se muestra en la tabla 1, es la que divide a los Carbohidratos en Monosacáridos, Disacáridos y Polisacáridos, siendo éstos últimos los de mayor interés en el área de investigación debido a que se ha encontrado que desarrollan una funcionalidad en el organismo al ser consumidos, la cual ha sido

ampliamente utilizada en alimentos agregándolos a cierta matriz alimenticia, dando lugar a los famosos “alimentos funcionales” (Badui, 2010).

Tabla 1. Clasificación de Carbohidratos por número de unidad monoméricas.

<p>a) <i>Monosacáridos (1 unidad de azúcar)</i> Pentosas: xilosa, arabinosa, ribosa, etc. Hexosas: aldohexosas: glucosa, galactosa, manosa, etc. cetohehexosas: fructosa, sorbosa, etc.</p>	<p>b) <i>Oligosacáridos (de 2 a 10 unidades de azúcar)</i> Disacáridos: lactosa, sacarosa, maltosa, etc. Trisacáridos: rafinosa, etc. Tetra y pentasacáridos: estaquiosa, verbascosa, etc.</p>
<p>c) <i>Polisacáridos (más de 10 unidades de azúcar)</i> Homopolisacáridos: almidón, glucógeno, celulosa, etc. Heteropolisacáridos: hemicelulosa, pectinas, etc.</p>	

Monosacáridos. Hay dos familias de monosacáridos las Aldosas y las Cetosas. Las aldosas y cetosas más abundantes en la naturaleza tienen entre 3 y seis átomos de carbono. Normalmente, las cetosas se denominan insertando la sílaba ul en el nombre de la aldosa correspondiente (Fennema, 2013). Ejemplo:

Aldosas	Cetosas
Ribosa	Ribulosa
Eritrosa	Eritrulosa

GLICERALDEHÍDO y DIHIDROXIACETONA: Ambas moléculas se encuentran en la vía de la glucólisis formando los intermediarios llamados las “triosas fosfato” pues las dos están presentes como ésteres del ácido fosfórico, que se transforman de manera reversible una en la otra, por la acción de la enzima triosa fosfato isomerasa.

GLUCOSA: La aldohexosa glucosa es tal vez el monosacárido de mayor importancia para el metabolismo celular, pues todas las células la aceptan para alimentar las vías principales del metabolismo (Badui, 2010). La estructura de este monosacárido se puede observar en la figura 1.

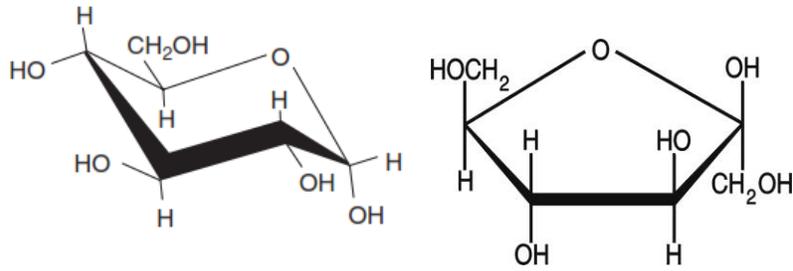


Figura 1: Representación de haworth y de silla para glucosa.

Los monosacáridos con excepción de la dihidroxiacetona, son ÓPTICAMENTE ACTIVOS, es decir, hacen girar el plano de la luz polarizada ya que tienen uno o más átomos de carbono asimétricos (quirales) (Nelson, 2009)..

Oligosacáridos. De los oligosacáridos importantes en bioquímica, los más relevantes son los disacáridos, entre ellos los mostrados en la tabla 2, tales como: maltosa, sacarosa, lactosa y celobiosa, que pueden diferenciarse atendiendo al tipo de los monosacáridos que los forman y el enlace glucosídico que los une (Fennema, 2013), algunos ejemplos de su estructura química se representan en la figura 2

Tabla 2: Tipos de disacáridos y características.

DISACÁRIDO	MONOSACÁRIDOS QUE LO CONFORMAN	TIPO DENLACE
Maltosa	Glucosa + Glucosa	α -1,4
Sacarosa	Glucosa + Fructosa	α,β -1,2
Lactosa	Galactosa + Glucosa	β -1,4
Celobiosa	Glucosa + Glucosa	β -1,4

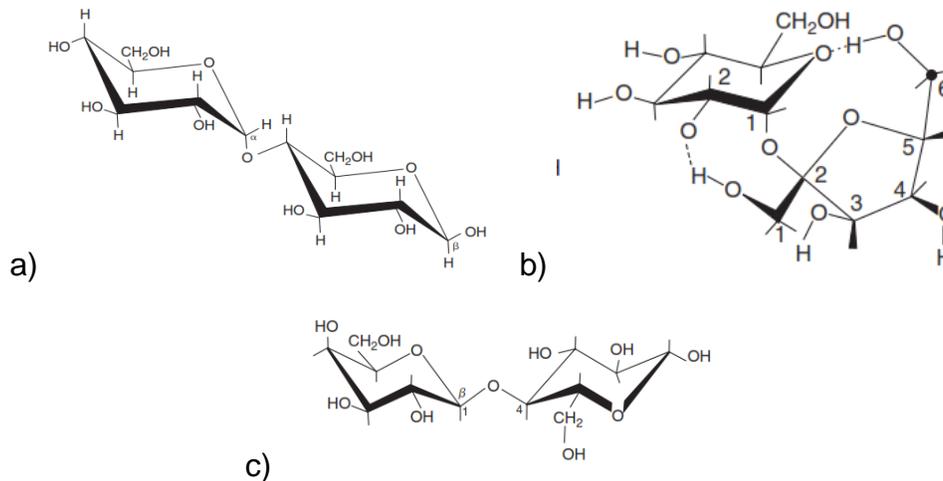


Figura 2: Representación gráfica de algunos disacáridos: a) maltosa, b) sacarosa y c) lactosa.

Polisacáridos. Los polisacáridos constituyen un grupo heterogéneo de polímeros, en el que intervienen más de 10 monosacáridos unidos por distintos enlaces glucosídicos; los polisacáridos de menos de 10 son los oligosacáridos. “No producen verdaderas soluciones, sino más bien dispersiones de tamaño coloidal; puros no tienen color, aroma ni sabor. Su peso molecular, que puede llegar a ser hasta de millones, es en realidad un promedio, puesto que las moléculas no son iguales y siempre presentan una distribución de valores” (Badui, 2010).

1.2 POLISACÁRIDOS

Se encuentran como cadenas lineales o ramificadas, que a su vez pueden estar integradas por un solo tipo de monosacárido (homopolisacárido) —como el almidón y la celulosa— o por varios tipos de monosacáridos (heteropolisacárido), como es el caso de la mayoría de las gomas (Fennema, 2013)..

De los Carbohidratos contenidos en casi todos los tejidos animal y vegetal, los polisacáridos son los más abundantes; los azúcares libres generalmente están en

una menor concentración, por lo que interactúan fuertemente con las proteínas en los sistemas biológicos, determinando muchas de las funciones celulares.

La unión entre polímeros generalmente se lleva a cabo con enlaces electrostáticos, aunque también pueden unirse con interacciones de tipo puentes de hidrógeno, y en otros casos por medio de enlaces covalentes (Nelson, 2009).

Los polisacáridos se encuentran principalmente en forma de reserva energética (almidones), o como parte de la estructura firme del producto (fibra dietética, celulosa, pectinas, gomas y hemicelulosa), como se muestra en la tabla 3, cuando se encuentran como estructura no son digeribles, ya que el organismo humano no puede metabolizarlos; sin embargo, la fibra dietética absorbe agua en el intestino y ayuda a la formación y eliminación de heces (Badui, 2010).

Tabla 3. Características de los polisacáridos.

<i>Estructurales</i>	<i>De reserva alimenticia</i>
Forman puentes de hidrógeno intermoleculares muy fuertes	Pocos puentes de hidrógeno intermoleculares y débiles
Producen fibras muy rígidas	No producen fibras
Insolubles en agua	Solubles en agua
Enlaces glucosídicos generalmente β	Enlaces glucosídicos generalmente α
Muy resistentes a enzimas, microorganismos y agentes químicos	Muy vulnerables a enzimas, microorganismos y agentes químicos
Sus dispersiones son de alta viscosidad	Sus dispersiones no son muy viscosas

Los polisacáridos se encuentran en forma natural en muchos alimentos, pero en algunas ocasiones se añaden a otros para obtener la formulación correcta, como en el caso del almidón, la carragenina y las pectinas, que se utilizan por sus propiedades funcionales, las cuales se muestran en la tabla 3. Por su gran capacidad de retener agua, producen partículas coloidales muy hidratadas, razón por la cual se les da el nombre de hidrocoloides (Fennema, 2013). Los polisacáridos son polímeros ampliamente distribuidos en la naturaleza. Los principales son:

- 1) CELULOSA. Es un homopolímero de la D-glucosa sumamente insoluble en agua, su estructura se muestra en la figura 3. Está formada por cadenas no ramificadas de unidades de D-glucosa unidas por enlaces β -

1,4'-glicosídicos, que son hidrolizados por la enzima β -glucosidasa la cual no tienen los mamíferos, por lo que los mamíferos *no pueden* obtener la glucosa que necesitan si comen celulosa. La acetilación parcial de la celulosa produce el acetato (de rayón), utilizado como fibra sintética. Es un polímero lineal de varios miles de glucosas unidas por enlaces (β -1,4). Tiene una estructura lineal o fibrosa, en la cual se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas, haciéndolas impenetrables al agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales (Badui, 2010).

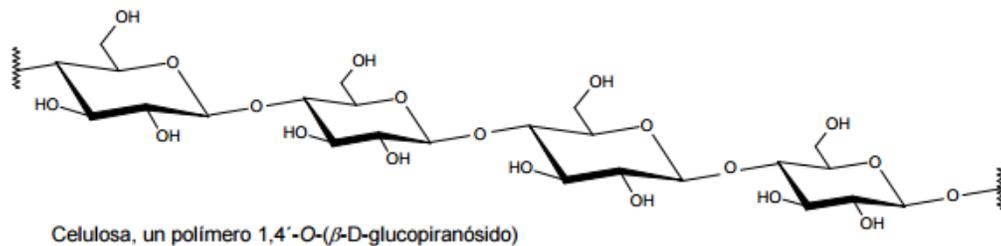


Figura 3: Representación del polímero celulosa.

- 2) ALMIDÓN. El almidón es una mezcla de dos polisacáridos diferentes: la amilopectina (80%), insoluble en agua y la amilosa (20%), soluble en agua. La amilosa está formada por cadenas no ramificadas de unidades de D-glucosa unidas por enlaces α -1,4'-glicosídicos y la amilopectina es un polisacárido ramificado de D-glucosa que están unidas por enlaces lineales α -1,4'-glicosídicos y que también contiene enlaces α -1,6'-glicosídicos en menor proporción que inician la ramificación en el polisacárido (Acosta, 2013). La amilopectina puede contener hasta 10^6 unidades de glucosa y es una de las moléculas más grandes que se encuentran en la naturaleza.

Sin embargo también existen otros polímeros, tales como:

- 3) **GLUCÓGENO.** Es el polisacárido de reserva propio de los tejidos animales, su estructura puede ser observada en la figura 4. Se encuentra en casi todas las células, pero en los hepatocitos y en las células musculares su concentración es muy elevada. Su estructura es similar a la de la amilopectina, pero con ramificaciones más frecuentes (cada 8-12 monómeros de glucosa), y su peso molecular es mucho más elevado (Badui, 2010). Representa, por decirlo así, el almidón de las células animales y también funciona como principal almacén de azúcar en forma de polisacárido.

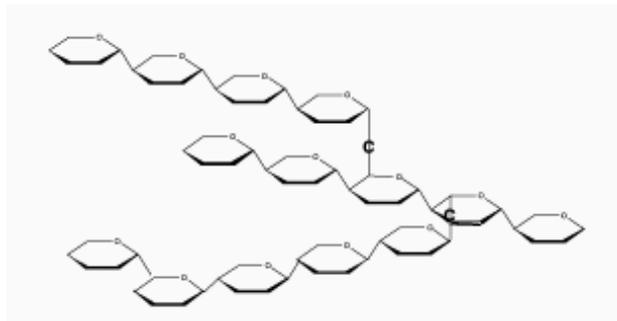


Figura 4: Representación gráfica de glucógeno

- 4) **QUITINA.** La quitina es también un polisacárido estructural que constituye el exoesqueleto de los artrópodos, es el componente principal del caparazón de los crustáceos (como langostas, cangrejos y camarones) y es uno de los componentes principales de las paredes celulares de los hongos (Fernandez y col, 1998). Esta molécula, no ramificada presenta enlaces β -1,4'-glicosídicos y tiene un grupo N-acetilamino en lugar de un OH en la posición C-2. Los enlaces β -1,4'-glicosídicos otorgan a la quitina su rigidez estructural, tal y como se muestra en la figura 5.

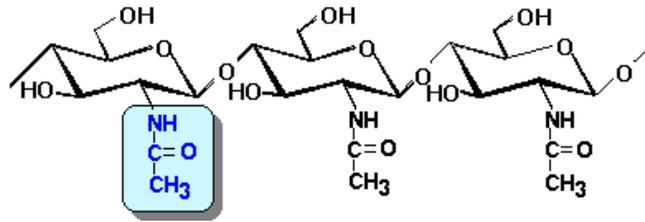


Figura 5: Representación gráfica de quitina

5) Además existen algunos otros polisacáridos como: gomas. Mucílagos, fructanos, pectinas, etc.

1.2.1 FRUCTANOS.

Los fructanos se encuentran de manera natural en las plantas como reserva de carbohidratos. Son polímeros de fructosa derivados de sacarosa, que comprenden de 1 a 70 unidades de fructosa enlazadas o no a una molécula de sacarosa terminal; pueden tener una estructura lineal o ramificada, unidas entre sí por medio de enlaces β -2,6 fructosil-fructosa encontradas en fructanos tipo levana o β -2,1 en fructanos de tipo inulina (Ritsema T, 2003).

Los fructanos del tipo inulina se dividen en dos grupos: inulina y productos de la hidrólisis de ésta (oligofructosa), más FOS (Fructooligosacáridos), los cuales son sintetizados de la sacarosa, se diferencian por su grado de polimerización: para inulina van de 2 a 70 unidades de monosacáridos , teniendo un promedio de 10 (Ritsema T, 2003); los FOS tienen un nivel de polimerización por debajo de 10 unidades, presentan de 1 a 4 moléculas de fructosa conectadas a una sacarosa por medio de enlace β -2,1; de ellos los principales tipos son: cestosa (GF2), nistosa (GF3) y 1- fructofuranosil nistosa (GF4), éstas estructuras se muestran en la figura 6.

Los FOS son oligosacáridos no digestibles, ya que resisten la acción hidrolítica de la saliva y de las enzimas del intestino delgado, por lo tanto pueden llegar al colón donde son degradados por las bacterias del intestino, produciendo ácidos grasos

de cadena corta, tales como: acetato, propionato, butirato además de ácido láctico, hidrógeno y dióxido de carbono (Choque-Delgado, G, et al, 2010).

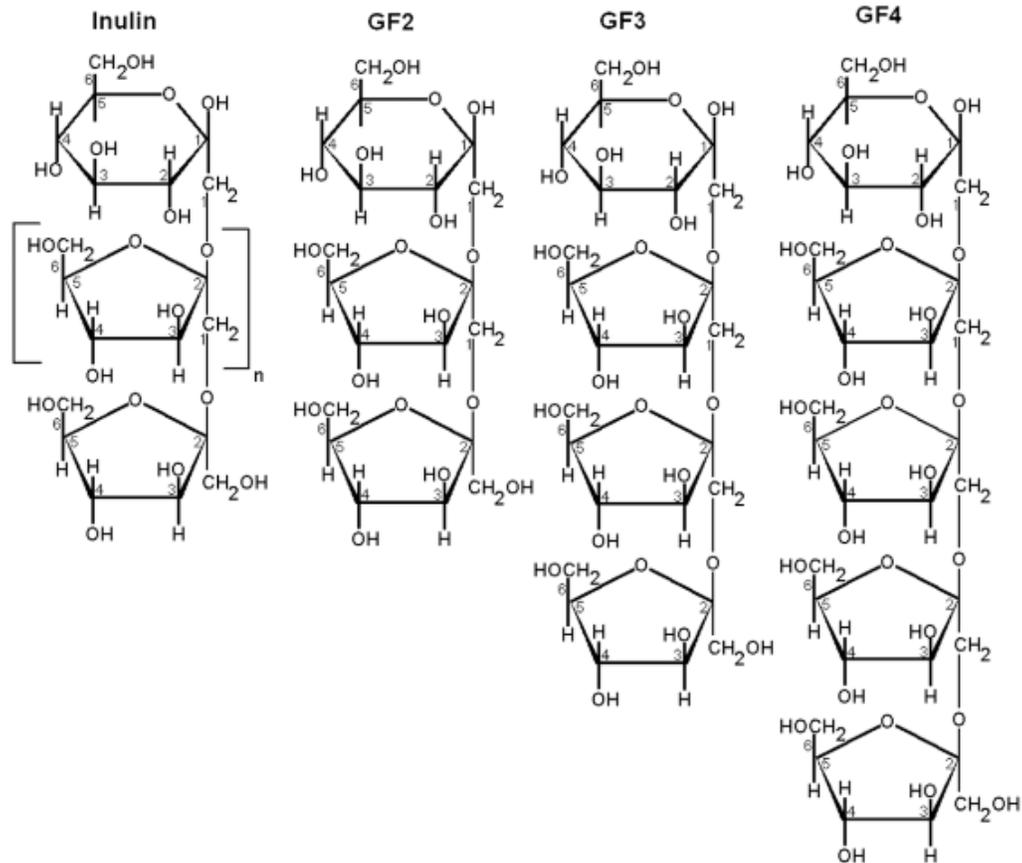


Figura 6: Ejemplos de fructooligosacáridos.
(Choque-Delgado, G, et al, 2010).

Los de tipo levana son encontrados en pastos y su estructura básica es un polímero de fructosa lineal con enlaces β -2,6. Y las plantas gramíneas presentan una mezcla de tipos de fructanos que pueden presentar residuos de fructosa con enlaces β -2,6 y ramificaciones β -1,2, la estructura de éste tipo de fructanos se representa en la figura 7.

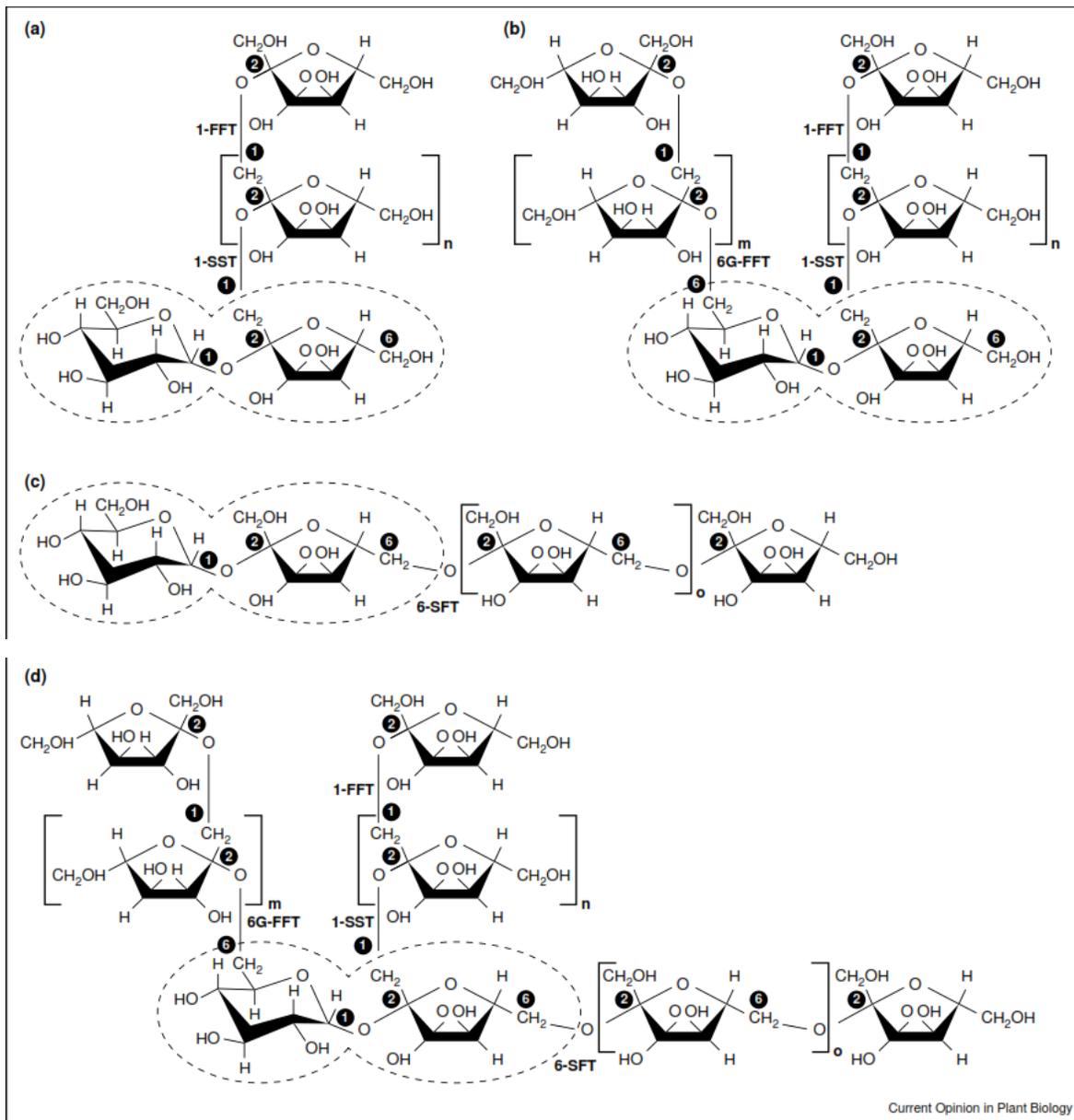


Figura 7: Tipo de Fructanos: a) Inulina, b) Neo-series de inulina, c) Levana, d) Fructanos de gramíneas.

La inulina y levana son fructanos solubles en agua formados por residuos fructosilo, sintetizados enzimáticamente a partir de sacarosa. Se encuentran como carbohidratos de reserva en el 15% de plantas con flores como la achicoria y los agaves. También son producidas por microorganismos como *Bacillus subtilis*, *Leuconostoc mesenteroides* y *L. citreum*. Las levanas tienen diversas aplicaciones en las industrias de cosméticos, alimentos y fármacos, mientras que las inulinas y

los fructooligosacáridos son considerados nutraceuticos. Existen sistemas en los cuales las fructanas se encuentran formando parte de una mezcla de polisacáridos, como puede ser almidón, dextranas, etc., de los cuales es difícil su separación y caracterización. Después del almidón, los fructanos son los polisacáridos no estructurales más abundantes en la naturaleza, presentes en muchas especies de plantas, en hongos del tipo *Aspergillus sp* (Choque-Delgado, G, et al, 2010).

“Además de ser una reserva de hidratos de carbono en los tallos y órganos subterráneos, los fructanos también pueden tener un papel importante en la protección de las plantas en condiciones de estrés por sequía y baja temperatura. Por otra parte, parecen tener un beneficiario efecto sobre el sistema digestivo humano, y son cada vez más utilizados como aditivos funcionales a los alimentos (Liu Zhiqian, et al, 2011)”.

Los fructanos son un ejemplo de los ingredientes funcionales: también conocidos como azúcares no convencionales debido a sus propiedades prebióticas, los fructanos representan una buena oportunidad de añadir valor al producto, ya sea en términos de funcionalidad o en la rentabilidad de la industria alimentaria . El consumo regular de prebióticos, tales como fructooligosacáridos (FOS) y la inulina promueve el buen desarrollo de la respuesta inmune, incluyendo la disminución de las alergias. Estos efectos parecen estar correlacionados con el aumento de bifidobacterias en la microbiota intestinal a través de la ingesta de los mismos (Pompei A, 2008).

Síntesis de Fructanos.

La síntesis de fructanos comienza con la conversión de sacarosa a 1 - cestososa. La enzima que lleva a cabo esta reacción, sacarosa: sacarosa 1 - transfructosilasa, que se encuentra en todas las plantas productoras de fructanos. 1-cestosa es, en general, utilizada por más especies específicas de fructosiltransferasas para sintetizar fructanos más largos y / o más complejos. Las dos enzimas responsables de la síntesis de fructanos, 1 -SST y fructanos: 1 - fructanos transfructosilasa, se aíslan de la inulina de plantas de almacenamiento. 1 -SST sintetiza la inulina más

corta, el trisacárido 1 - cestososa. 1 - FFT utiliza 1 -cestosa o fructanos con un mayor grado de polimerización como donantes de fructosa, y se puede utilizar una variedad de fructanos o sacarosa como aceptores de fructosa. 1 – FFT por lo tanto es capaz de sintetizar una variedad de moléculas de fructanos con un grado de polimerización de más de tres unidades de fructosa (Ritsema-Tita, 2003).

Determinación de Fructanos.

Un número de métodos se han aplicado al análisis de fructanos. Cromatografía de gases- espectrometría de masas (GC-MS), resonancia magnética nuclear (RMN, y matriz asistida por láser de desorción / ionización tiempo de vuelo (MALDI- TOF) espectrometría de masas han sido principalmente utilizados para obtener información estructural a cerca de fructanos.

La Cromatografía de Líquidos de alta Resolución (HPLC), principalmente la de intercambio iónico y de detector de pulso amperométrico (HPAEC-PAD), es la técnica más utilizada para cuantificación de fructanos. HPAEC -PAD es capaz de proporcionar una excelente separación de los fructanos tipo inulina. Sin embargo, la cuantificación directa de fructanos mediante esta técnica es difícil debido a la falta de normas y la mala resolución de altos pesos moleculares de polímeros, especialmente en especies de gramíneas.

Entre 1996 y 1997 se publicó el método AOAC 997.03, titulado “Fructanos en productos alimenticios, método de cromatografía de intercambio iónico”. Luego, se publicó el método AOAC 999.03, titulado “Método enzimático espectrofotométrico de medición de fructanos totales en alimentos”, con el mismo principio del método anterior, pero es una técnica enzimática-colorimétrica. Hoy en día se recomienda determinar el contenido de fibra dietética total en un alimento por los métodos oficiales y determinar los fructanos por los métodos disponibles. El contenido de fibra total es la suma de las cantidades obtenidas por los dos métodos separados (Madrigal L, 2007).

El método AOAC 997.08 se basa en tres etapas: extracción, hidrólisis por acción enzimática y determinación de los azúcares libres por cromatografía. Se parte una solución acuosa del producto alimenticio que contenga aproximadamente 1% (p/v) de fructanos. La extracción de los fructanos se realiza en dos pasos. En el primero se usa agua hirviendo, con agitación continua a pH 6,6 - 8,0 y se completa la extracción en un segundo paso, la solución se mantiene en agitación a 80°C por un tiempo de 10 min, se deja reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se toma una alícuota (aprox. 50 g) para ser sometida a la primera determinación cromatográfica de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) a partir de la cual, y mediante cálculos analíticos, se obtendrá la cantidad de fructosa libre (Ff) y de sacarosa (S), que inicialmente estaban presentes en la muestra. Se toma otra alícuota de la solución obtenida por extracción (aprox. 15 g) para ser sometida a la primera hidrólisis enzimática con amiloglucosidasa. Para garantizar la reacción la solución se debe mantener a 60°C por un tiempo de 30 min con suave agitación, se deja reposar la solución hasta que llegue a temperatura ambiente, se toma una alícuota de aprox. 10 g para realizar la segunda determinación cromatográfica de azúcares. De esta determinación intermedia, se obtendrán las cantidades de glucosa libre (Gf) y de la glucosa obtenida a partir de las maltodextrinas (Gm) y almidones. El resto de la solución obtenida de la primera hidrólisis enzimática se somete a una segunda hidrólisis con inulinasa a 60°C por 30 min. De la determinación cromatográfica de esta última solución se obtienen las cantidades de glucosa total (Gt) y fructosa total (Ft), ya que se asume que todas las moléculas poliméricas de los fructanos han sido hidrolizadas hasta la forma de moléculas simples de los diferentes azúcares (Madrigal L, 2007). A partir de todos los cálculos analíticos realizados se puede obtener el contenido total de fructanos, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$\phi = k \cdot (G + F)$$

Donde ϕ , es el contenido total de fructanos presentes en la muestra, G es el contenido de glucosa y F es el contenido de fructosa, ambos proveniente de los fructanos. Mientras que k es un factor de corrección (por el agua absorbida después de la hidrólisis) que depende del grado de polimerización de la inulina presente. Para el cálculo de G y F (glucosa y fructosa provenientes de las moléculas de fructanos), se tienen las siguientes ecuaciones:

$$G = G_T - \frac{S}{1.9} - G_F \dots \dots (2)$$

$$F = F_T - \frac{S}{1.9} - F_F \dots \dots (3)$$

Donde:

G = Glucosa de Fructanos

F = Fructosa de Fructanos

G_T = Glucosa Total

F_T = Fructosa Total

$S/1.9$ = Glucosa de Fructosa de Sacarosa

F_F = Fructosa Libre

G_F = Glucosa Libre

En particular en cuanto al método cromatográfico, el estándar AOAC 997.08 especifica que debe ser usado un equipo de cromatografía de intercambio iónico de alto desempeño, con detección de pulsos amperométricos (HPAEC-PAD por sus siglas en inglés), ya que en investigaciones anteriores se evidenciaron desviaciones significativas en los resultados, cuando fueron empleados otros sistemas de detección.

La literatura evidencia la existencia de otras técnicas para la determinación cuantitativa de los fructanos. Entre ellas se mencionan las siguientes:

- La técnica de HPLC se emplea para determinar las cantidades relativas de los diferentes compuestos que se encuentren presentes (glucosa, fructosa,

sacarosa), pero no es muy preciso para compuestos de grado de polimerización mayores a 5 (GP > 5).

- Cromatografía de gas capilar, útil para la determinación cuantitativa de fructanos con GP < 10, y también para distinguir las moléculas que tiene una unidad de fructosa terminal (GF) de aquellas que no la poseen (Fn).
- Por permetilación y posterior cromatografía capilar de gases y espectrometría de masa, con este procedimiento se puede estudiar las características particulares de la estructura química del fructano, el tipo de enlace y la frecuencia de ramificación (Judpransong, 2011).

A pesar de que el método estándar AOAC 997.08 resulta muy confiable en sus resultados, su aplicación requiere mucho tiempo y es indispensable el uso de un aparato específico de cromatografía. Es así como existen otros métodos estándares para la determinación, entre ellos se encuentra el método AOAC 999.03, el cual también está basado en tratamientos enzimáticos de hidrólisis y posterior determinación de azúcares, por espectrofotometría. Posee la limitación de que los compuestos provenientes de la hidrólisis de la inulina (del tipo Fn) son subestimados (Madrigal L, 2007).

1.2.2 FIBRA DIETÉTICA.

No existe una definición universal ni tampoco un método analítico que mida todos los componentes alimentarios que ejercen los efectos fisiológicos de la fibra. Sin embargo, se han considerado fibras dietéticas a los polisacáridos vegetales y la lignina, que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas del ser humano.

La American Association of Cereal Chemist (2001) define: "la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso". La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas

promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre (Escudero, 2006).

Existen otras y muy diversas definiciones del término fibra. La National Academy of Sciences (NAS) y Food and Nutrition Board de los Estados Unidos, en el año 2002, definieron los términos Fibra Dietaria, Fibra Funcional y Fibra Total. Se entendió como fibra dietaria “a aquellos glúcidos no digeribles y a la lignina intactos, presentes en las plantas”. Por otra parte, describieron fibra funcional como “aquellos hidratos de carbono no digeribles aislados para los cuales se han acumulado evidencias de efectos fisiológicos benéficos en la salud de los seres humanos”. Y por último, a fibra total como “la suma de la fibra dietaria y la fibra funcional”. El Codex Alimentarius, en el año 2005, definió fibra dietética como “los polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización mayor o igual a 3, que no son digeridos y/o absorbidos en el intestino delgado” (Escudero, 2006).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingestión diaria de 27 a 40 gramos de fibra dietética mientras que Food and Drugs Administration (FDA) propone a individuos adultos un consumo de 25 gramos de fibra por día cada 2000 kcal/día. Por otra parte el National Cancer Institute (NCI, Estados Unidos) considera un consumo óptimo entre 20-30 g/día para la prevención de cáncer de colon, sugiriendo no excederse de los 35 g/día de fibra dietaria (Olagnero, G. et al, 2007).

Clasificación de fibra.

Se clasifica y organiza a las fibras alimentarias o dietéticas según su comportamiento en medio acuoso.

Las fibras alimentarias insolubles (FAI), son aquellas parcialmente fermentables en el intestino por las bacterias colónicas y no forman dispersión en agua. Las fibras alimentarias solubles (FAS) o totalmente fermentables, son aquellas que forman geles en contacto con el agua. Comprenden a las gomas, mucílagos, pectinas, almidón resistente 2 y 3, algunas hemicelulosas, galactooligosacáridos (GOS), inulina y fructooligosacáridos (FOS). Se encuentran fundamentalmente en frutas,

legumbres y cereales como cebada y avena. Su solubilidad en agua condiciona la formación de geles viscosos en el intestino, favoreciendo la absorción de agua y sodio. Desde el punto de vista fisiológico intestinal, estas fibras retrasan el vaciamiento gástrico y enlentecen el tránsito intestinal, por lo que se les atribuye efecto astringente, hipolipemiante y disminución de la respuesta glucémica. A su vez, se caracterizan por ser rápidamente degradadas por la microflora del colon. (Olagnero G, 2007). Este proceso de fermentación depende en gran medida del grado de solubilidad y del tamaño de sus partículas, de manera que las fibras más solubles y más pequeñas tienen un mayor y más rápido grado de fermentación. La fermentación da lugar, entre otros productos, a AGCC. Los efectos fisiológicos atribuidos más importantes de estos subproductos consisten en disminuir el pH intraluminal, estimular la reabsorción de agua y sodio, fundamentalmente a nivel de colon ascendente, y potenciar la absorción de cationes bivalentes

Las fibras parcialmente fermentables, comprenden aquellas fibras en las que la celulosa es un componente esencial y la lignina se combina de forma variable. En esta categoría también se incluyen algunas hemicelulosas, goma agar, alginatos, carrageninas y almidón resistente 1. En la dieta humana existen fuentes importantes de este tipo de fibra, como los cereales integrales, el centeno y los productos derivados del arroz. Estas moléculas son escasamente degradadas por la acción de las enzimas del tracto gastrointestinal, por lo cual llegan intactas al colon, donde son fermentadas parcialmente por las bacterias colónicas anaeróbicas. Por este motivo y por su capacidad de retener agua, aumentan la masa y el peso de las heces, estimulando la velocidad de evacuación intestinal. Se ha sostenido mucho tiempo que la fibra parcialmente fermentable forma compuestos insolubles con algunos minerales disminuyendo la absorción de los mismos en intestino delgado. Sin embargo, se ha demostrado en numerosas investigaciones que éste efecto no se debe a la fibra sino a la presencia de fitatos y/u otros compuestos capaces de formar dichos complejos con los minerales. Los minerales no absorbidos en el intestino delgado pueden ser absorbidos en el colon una vez que son liberados de la matriz indigerible en la que están incluidos (Olagnero G, 2007).

Por lo tanto la fibra dietética es considerada dentro de los prebióticos, los cuales son “un ingrediente alimentario no digerible que afecta beneficiosamente al huésped estimulando de manera selectiva el desarrollo y la actividad de una o de un número limitado de bacterias del colon que tienen la posibilidad de mejorar la salud del huésped. En la categoría de prebióticos se incluye una serie de hidratos de carbono apenas digeridos, como ciertas fibras y almidones resistentes, pero los prebióticos descritos más ampliamente son los oligosacáridos no digeribles (OND). Son hidratos de carbono de bajo peso molecular con 2-10 grados de polimerización, que apenas son digeridos en el intestino del ser humano, por lo que alcanzan el colon en su mayor parte sin haber sido modificados y actúan como sustrato de la microflora colónica. Parecen estimular específicamente una serie de bifidobacterias y lactobacilos, a menudo a expensas de otros componentes de la microflora (AJ Burns, 2003)”.

Componentes de la Fibra.

El número de sustancias que se incluyen en el concepto de fibra ha aumentado y es probable que la investigación que se está llevando a cabo en este campo permita que nuevos productos puedan ser incluidos en el concepto de fibra dietética.

Los principales componentes serían:

Polisacáridos no almidón. Los polisacáridos son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos veinte residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no almidón para aquellos que llegan al colon y poseen los efectos fisiológicos de la fibra. Podríamos clasificarlos en celulosa, β -glucanos, hemicelulosas, pectinas y análogos, gomas y mucílagos (Escudero, 2006).

Oligosacáridos resistentes. Hidratos de carbono con un nivel de polimerización menor, tienen de tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en

fructooligosacáridos (FOS) e inulina, galactooligosacáridos (GOS), xilooligosacáridos (XOS), isomaltooligosacáridos (IMOS).

Ligninas. No es un polímero del tipo de polisacáridos sino un polímero orgánico complejo que de alcoholes aromáticos como el fenilpropilo; contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignificación de los tejidos también permite mayor resistencia al ataque de los microorganismos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado. Es un componente alimentario menor. Muchas verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3% de lignina, en especial en estado de maduración. El salvado de cereales puede llegar a un 3% de contenido en lignina (Escudero, 2006).

Sustancias asociadas a polisacáridos no almidón. Poliésteres de ácidos grasos e hidroxiácidos de cadena larga y fenoles. Los más importantes son la suberina y la cutina. Se encuentran en la parte externa de los vegetales, junto con las ceras.

Almidones resistentes. Son la suma del almidón y de sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de los individuos sanos (Escudero, 2006).

Hidratos de carbono sintéticos. Son hidratos de carbono sintetizados artificialmente pero que tienen características de fibra dietética. Serían:

- Polidextrosa.
- Metilcelulosa, Carboximetilcelulosa, Hidroximetilpropilcelulosa y otros derivados de la celulosa.
- Curdlan, Escleroglucano y análogos.
- Oligosacáridos sintéticos.

Fibras de origen animal. Sustancias análogos a los hidratos de carbono que se encuentran principalmente en alimentos de origen animal. Serían:

- Quitina y Quitosán: forman parte del esqueleto de los crustáceos y de la membrana celular de ciertos hongos.
- Colágeno.
- Condroitina.

Algunas sustancias que pueden ser incluidas como fibra dietética pero que todavía resultan controvertidas serían:

- polioles no absorbibles (manitol, sorbitol);
- algunos disacáridos y análogos no absorbibles;
- algunas sustancias vegetales (taninos, ácido fítico, saponinas).

1.2.3 ALMIDÓN.

Es un carbohidrato que constituye la forma más generalizada, aunque no la única, de reserva energética en vegetales. Se encuentra organizado de partículas discretas en forma de gránulos, dicha forma, tamaño, morfología, composición y estructura molecular depende de la fuente botánica, y puede llegar a constituir hasta el 70% del peso de granos (maíz y trigo) o de tubérculos (papa). Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, el análisis minucioso de la estructura del almidón demuestra que es una mezcla de: amilosa y amilopectina, tal y como se muestra en la figura 8. La proporción de ambos polisacáridos varía según la procedencia del almidón, pero por lo general, la amilopectina es la más abundante. Los almidones constituyen la principal fuente de nutrición glicosídica para la humanidad (Medina C, 2010). El almidón puede ser degradado por muchas enzimas. En los mamíferos, estas enzimas se llaman amilasas, y se producen sobre todo en las glándulas salivares y en el páncreas.

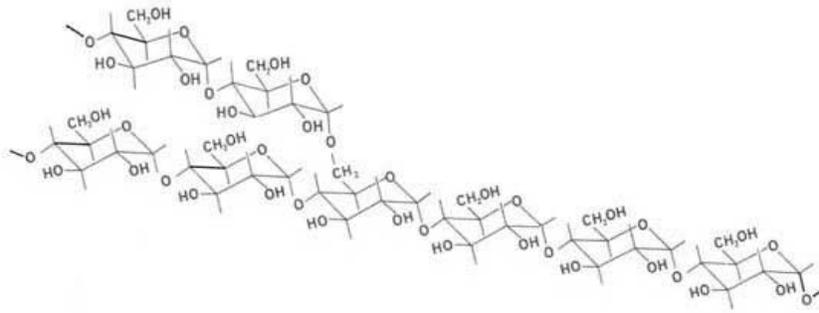


Figura 8: Representación gráfica de Almidón.

La **amilosa** es un polímero lineal, producto de la condensación de D-glucopiranosas unidas exclusivamente por enlaces α -(1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de disolverse fácilmente en agua, adquiriendo una estructura secundaria característica, una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa, lo cual puede observarse en la figura 9. Dentro de la hélice se propicia un entorno hidrofóbico, con la capacidad de formar complejos no sólo con yodo, sino con alcoholes o ácidos orgánicos. Se ha considerado que las regiones helicoidales son relativamente rígidas y se presentan de 10 a 15 giros por región (Acosta, 2013).

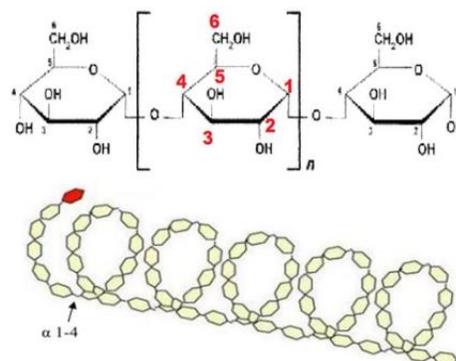


Figura 9: Cadena de amilosa.

La **amilopectina** es un polímero compuesto por unas 1000 unidades de α -D-glucopiranososa que se diferencia de la amilosa porque contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa, su estructura se muestra en la figura 10.

Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300,000 y 500,000. Los almidones contienen aproximadamente 17- 27% de amilosa, y el resto es amilopectina (Acosta, 2013).

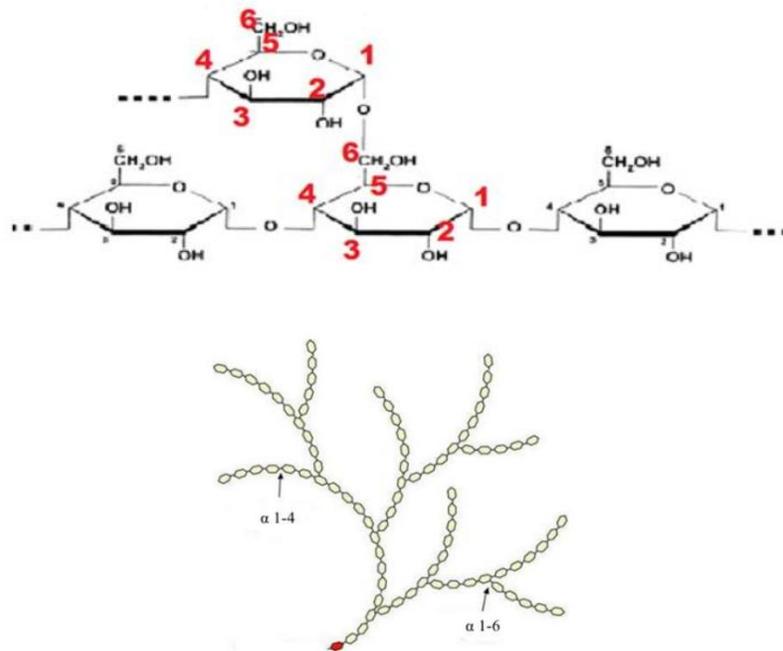


Figura 10. Cadena de amilopectina.

La amilopectina, es responsable de que el gránulo presente una estructura organizada en forma de anillos, donde dichas moléculas se alinean a lo largo de un eje imaginario que se extiende desde el hilio (punto de origen) del gránulo hasta el exterior del mismo, además de poseer cierta propiedad semicristalina, formando así dos regiones, una cristalina y una amorfa, que dan lo que se conoce como fenómeno

de birrefringencia (Tovar, 2008). La región cristalina está formada por cadenas de amilopectina estructuradas en racimos, mientras que la región amorfa está formada por puntos ramificados entre la amilopectina y la amilosa, lo cual se muestra detalladamente en la figura 11.

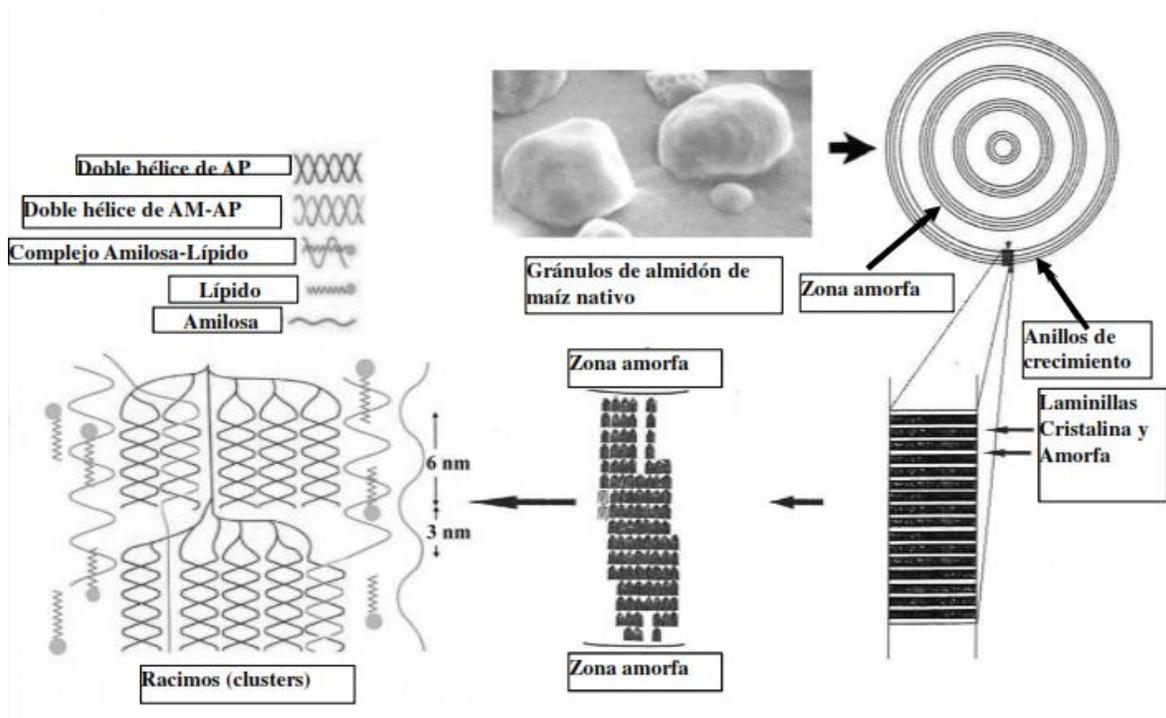


Figura 11: Zonas amorfa y cristalina dentro del gránulo de almidón. (Brumovsky, 2014).

La cristalinidad del almidón se atribuye a las cadenas lineales de amilopectina conformadas en dobles hélices, las cuales forman modelos de estructuras ordenadas que son entidades cristalinas, donde se presentan dos tipos de patrones de difracción de rayos X, los cuales se muestran en la figura 12, donde se muestra que el tipo A con picos de mayor intensidad de difracción para los ángulos $2\theta = 15$ y 23 , característico de los almidones de cereales, El tipo B tiene picos de mayor intensidad de difracción para ángulos $2\theta = 5, 6, 15$ y 24 , encontrado en almidones de tubérculos y altos en amilosa, actualmente se considera un tipo C, siendo una mezcla de los dos primeros, pero inclinándose al tipo A. El arreglo de éstas dobles hélices dentro de la estructura polimórfica tipo A es relativamente compacta con un bajo contenido de agua (4-6 moléculas de agua por hélice), el polimorfismo tipo B,

tiene una estructura más abierta, por lo tanto hay mayor contenido de agua haciéndola una hélice hidratada (36 moléculas de agua por hélice), (Acosta, 2013)".

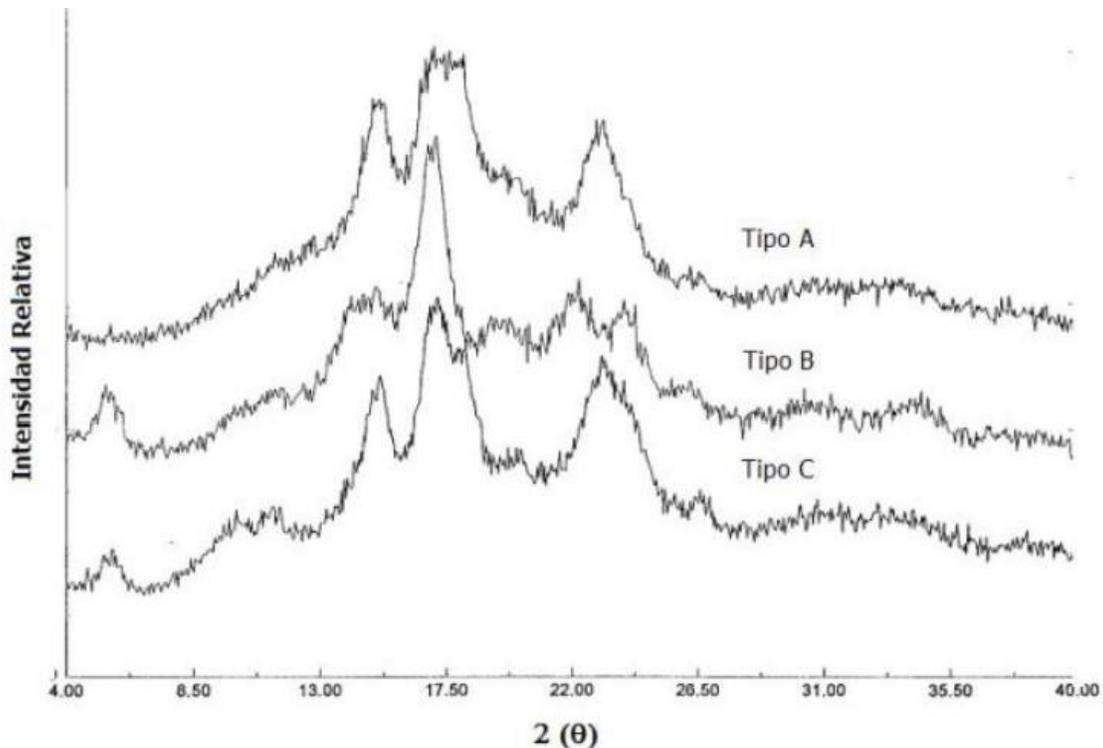


Figura 12: Gráfico obtenido por difracción de rayos X para almidón.

Todos los gránulos de almidón son birrefringentes y observados con luz polarizada muestran una sombra característica en forma de cruz (cruz de malta) en el centro morfológico del grano. Cuando los gránulos de almidón se calientan en agua a temperaturas de 60-70 °C, se hinchan, provocando que los polímeros lineales más cortos se disuelvan; sin embargo, a temperaturas los gránulos gelatinizan. La gelatinización provoca la pérdida de la birrefringencia, se desintegra el gránulo y se forma una pasta, un gel o una solución según el origen y concentración del almidón (Acosta, 2013).

Gelatinización del Almidón.

Los gránulos de almidón intactos no son solubles en agua fría, pero pueden embeber pequeñas cantidades de agua de forma reversible, ocasionando un

pequeño hinchamiento del mismo. La gelatinización del almidón es el fenómeno que se presenta cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua, provocando la disrupción del orden molecular dentro del gránulo. Ésta pérdida del orden incluye:

- Hinchamiento irreversible del gránulo.
- Pérdida de birrefringencia.
- Pérdida de estructura cristalina.

Se lleva a cabo en un margen estrecho de temperatura, gelatinizando primero los gránulos más grandes y posteriormente los pequeños (Brumovsky, 2014). Algunos ejemplos de las temperaturas a las que sucede la gelatinización de distintos tipos de almidón se presentan en la tabla 4.

Tabla 4: Temperaturas de gelatinización para almidón de distintas fuentes.

Almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Arroz	61 - 78
Maíz	62 - 72
Papa	58 - 65
Mandioca	58 - 65
Sorgo	68 - 75
Trigo	52 - 63

(Brumovsky, 2014).

Retrogradación de Almidón.

Cuando soluciones de almidón son enfriadas a temperatura ambiente, o a temperaturas más bajas, hay formación de geles o de precipitados cristalinos, dependiendo de la concentración de las soluciones y de la velocidad de enfriamiento. Soluciones concentradas y enfriadas rápidamente tienden a formar geles en cuanto que soluciones diluidas tienden a precipitar, cuando son dejadas en reposo. Estos precipitados cristalinos son formados debido a la tendencia de formación de enlaces intermoleculares de la fracción lineal lo que difícilmente sucede con la amilopectina

por las ramificaciones. Este fenómeno es conocido como retrogradación del almidón y es acelerado por el congelamiento de las soluciones acuosas, permaneciendo mucho más amilopectina en solución debido a la dificultad de retrogradar. En el proceso de retrogradación hay siempre liberación de las moléculas de agua anteriormente enlazadas a la cadena de amilosa, y este fenómeno es llamado sinéresis (Badui, 2010).

Efectos de la retrogradación:

- Incremento de viscosidad.
- Desarrollo de turbidez y opacidad.
- Precipitación de partículas insolubles.
- Formación de geles.
- Sinéresis.

Almidón Resistente.

El almidón es el único polisacárido que se encuentra naturalmente y que se puede digerir por las enzimas intrínsecas del tracto gastrointestinal humano, es por ello que se pensaba que su digestión se completaba en el intestino delgado; sin embargo, estudios recientes han demostrado que una proporción importante de almidón llega al intestino grueso. Éste almidón se denomina, almidón resistente (AR) y se define como la suma del almidón y los productos de degradación del mismo no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (Raatz S, 2016).

La definición de almidón resistente tiene dos corolarios:

1. Se define exclusivamente en términos del intestino grueso, ya que si el índice de paso del alimento es lo suficientemente lento, la digestión se completa y no hay AR.
2. AR incluye los oligosacáridos y otros productos de la hidrólisis en el intestino delgado de manera que la sola medición de almidón sin digerir no es una medida completa del AR (Topping, David et al, 2006).

Los almidones sin gelatinizar altos en amilosa (60-70% del almidón total) son resistentes a la amilolisis y se utilizan comercialmente como un ingrediente para aumentar el contenido de AR de alimentos procesados. Los almidones químicamente modificados también califican como AR (Jiménez, 2011). Todas estas influencias son las que han permitido una clasificación en 4 tipos de AR:

- *Tipo 1 o AR1* (atrapado o físicamente inaccesible): se encuentran en los granos de cereales y en las legumbres.
- *Tipo 2 o AR2* (cristalizado, gránulos resistentes): no puede ser atacado enzimáticamente si antes no se gelatiniza. Sus fuentes son las papas crudas, plátano verde y la harina de maíz.
- *Tipo 3 o AR3* (retrogradado): almidón que cambia su conformación ante fenómenos como el calor o el frío. Al calentar el almidón en presencia de agua se produce una distorsión de las cadenas de polisacáridos adquiriendo una conformación al azar, este proceso se denomina gelatinización. Al enfriarse comienza un proceso de recristalización, llamado retrogradación. Este fenómeno es responsable por ejemplo del endurecimiento del pan. Sus fuentes son pan, hojuelas de cereales, papas cocidas y enfriadas y alimentos precocinados.
- *Tipo 4 o AR4* (modificado): almidón modificado químicamente de forma industrial. Se encuentra en los alimentos procesados como pasteles y alimentos infantiles (Jiménez, 2011).

Estudios recientes señalan que la cantidad de almidón que alcanza el intestino grueso puede ser de 4 a 5 g/día, aunque en países donde la ingesta de hidratos de carbono es mayor, esta cantidad puede ser más elevada (Gao H, 2016). Este almidón se comporta en el colon como un sustrato importante para la fermentación bacteriana colónica.

El almidón resistente se encuentra de forma natural en frutas, leguminosas y tubérculos. El interés por el estudio de almidón resistente se debe a que la

fermentación de carbohidratos complejos por la microflora del intestino grueso es importante para la salud humana. Los productos metabólicos, especialmente los ácidos grasos de cadena corta, han surgido como combustibles metabólicos de colonocitos así como por tener acciones específicas que promueven la función normal del colon (Jiménez, 2011).

2 CHINCHAYOTE (Raíz de *Sechium edule*).

División: Embryophytasiphonogama (Fanerógamas)

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotyledonae

Orden: Curcubitacea

Género: *Sechium*

Especie: *edule*

El chayote puede ser consumido como hortaliza, tanto sus frutos, como los tallos, hojas, flores tiernas y la raíz. La planta se caracteriza por presentar un sistema radical que se ramifica cerca de la superficie del suelo y forma raíces tuberosas que constituyen las partes más nutritivas de la planta ya que ellas contienen entre 10 y 25% de almidón, la raíz tuberizada del chayote es un órgano poco estudiado. Pertenece a la tribu Sycioideae de la familia Curcubitaceae que se caracteriza por poseer una semilla de gran tamaño. Fue utilizado como alimento básico por los pueblos indígenas de México y Centroamérica (Cruz, 2005). El chayote forma raíz tuberizada al mismo tiempo que la planta emite flores, produce frutos y registra un aumento de su follaje, por lo tanto el comportamiento del chayote es diferente al de otras especies que realizan el proceso de almacenamiento de reservas en sus órganos subterráneos, en los cuales el proceso de emisión de flores o frutos es posterior a la realización del proceso de acumulación, como ocurre en el caso de la papa (*Solanum tuberosum* L.).

Las raíces, actuando como órganos de almacenamiento, posibilitan la brotación tan pronto como las condiciones ambientales sean favorables para su crecimiento.

La raíz tuberizada del chayote, dependiendo de la región y grupo indígena y campesino de que se trate, recibe diferentes nombres: “chayotextle”, “chinchayote”, “chayocamote”, “chayotectli”, “camochayote”, “cueza”, “ichinta” (Hoffman, 2005).

La parte más nutritiva de la planta corresponde a las raíces tuberizadas que contienen de 10 a 25 % de almidón. La raíz tuberizada o rizoma es “largo, amorfo, macizo” y presenta un tejido tuberoso con sabor a vegetal que, probablemente, se parte cuando ya está vieja y fibrosa (Hoffman, 2005).



Figura 13: Chinchayote.

El chinchayote es una parte engrosada de las raíces principales y que, por lo tanto, se ubica dentro de las raíces tuberizadas como se puede observar en la figura 13. Se localizan en la parte terminal del sistema radical tal y como se presenta en la figura 14. Ellas aparecen durante el primer año de crecimiento de la planta. Poseen una forma no bien definida con tendencia cilíndrica alargada y pequeñas estrangulaciones, con una longitud media de 21.4 cm, un grosor de 3.62 cm de color crema y textura áspera en la parte externa (Cruz, 2005).

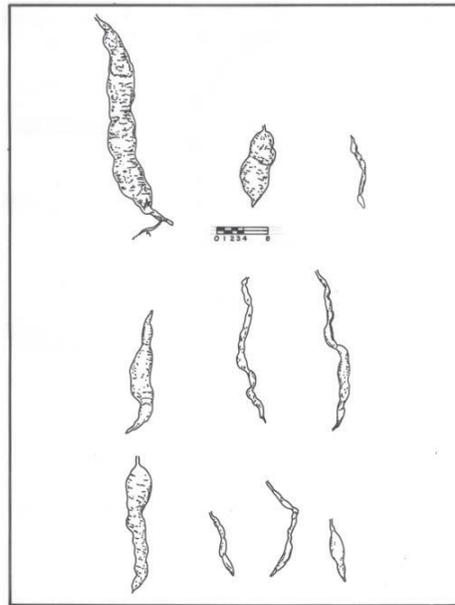


Figura 14: Formas y tamaños del Chinchayote durante el primer año.

Con las primeras heladas sólo queda vigente la parte subterránea de la planta, los tubérculos persisten y logran repetir el ciclo vegetativo durante varios años. De junio a septiembre las hojas se desecan y se pudren y, en estas condiciones, la planta no produce tubérculos. Al segundo año de cultivo se forman las raíces tuberosas de color amarillento. Una vez extraída la raíz tuberizada tiene una duración de 15 días debido a la pérdida de agua. El sistema radical incluye tanto a las raíces fibrosas como a las de almacenamiento y éstas alcanzan gran tamaño y constituyen un alimento muy apreciado. Su cosecha o aprovechamiento es más fácil en terrenos donde se encuentra a mayor profundidad o en suelos húmedos (Camareno, 1978).

El promedio de chinchayote es de 7.2 piezas por planta y, cada una de ellas, ubicadas en raíces diferentes. Normalmente, se presenta una de ellas por cada raíz. En los suelos con poca profundidad la formación tuberosa es más superficial y tienden a ser más profundas cuando las capas del horizonte son más amplias y asimismo, registran mayor peso y longitud. Durante el primer año de crecimiento de la planta de chayote se inicia la formación de raíz tuberizada a los 112 días después de la siembra (Cruz, 2005).

El tubérculo del chayote o chinchayote, representa una fuente no convencional de almidón, en virtud de que éste es uno de sus principales componentes (70% b.s.). Su peso suele ser hasta de 3 kg, su forma variable, ya sea cilíndrica, ovoidea o irregular, su corteza hendida irregularmente, es de un color amarillo sucio y cubierta de multitud de pequeñas placas separadas por hendiduras poco profundas, el interior es blanco- amarillosos, sobre todo hacia la periferia (Hoffman, 2005). Su composición química por cada 100 partes se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Composición Química de Chinchayote.

Componente	Porcentaje (%)
Agua	71.0
Almidón	20.0
Materia resinoide amarilla, soluble en éter	0.20
Azúcares	0.32
Albúmina vegetal	0.43
Celulosa	5.60
Otros	2.25

3 CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN.

3.1 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

Se conocen algunas variantes de microscopias, tales como: la microscopia electrónica de transmisión (TEM), Microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) y Microscopía electrónica de barrido (SEM). Estas dos últimas son las más utilizadas ya que permiten una mayor apreciación de la superficie del gránulo y su morfología en general, la cual esta relacionada directamente a la fuente botánica (Tovar, 2008).

El principio del sistema SEM consiste en que si se hace incidir sobre la muestra un haz de electrones finamente enfocado, emite una señal que puede registrarse en una pantalla mediante un tubo de rayos catódicos (Acosta, 2013). En ésta técnica se cuenta con un cañón de electrones de alto voltaje, el cual junto con la corriente de filamento y controles de polarización son los elementos necesarios para producir un haz de electrones. La velocidad de los electrones es una función de la alta

tensión, mientras que la tensión de polarización controla la velocidad de flujo de electrones, la corriente de haz es la medida de la velocidad de flujo de los electrones.

La necesaria ausencia de volátiles para preservar el vacío en la SEM obliga a las muestras hidratadas a ser deshidratadas, para posteriormente ser recubiertas con oro y ser observadas al microscopio, esto puede provocar diversos eventos químicos y fisicoquímicos que modifiquen la microestructura de la muestra durante su separación (Tovar, 2008).

3.2 RVA (Análisis Rápido de Viscosidad).

El RVA es un equipo muy conocido y utilizado para el estudio y comportamiento de almidones, mecánicamente hablando puede ser considerado un viscosímetro de cilindros concéntricos, con la variante de que el cilindro interno es un agitador o impulsor de una hélice, en el cual se fija la velocidad de corte (revoluciones por minuto, rpm) y se mide el torque ejercido sobre la muestra (Rojas, 2012). Actualmente existen muchos trabajos de investigación haciendo uso de RVA, en los cuales se ha involucrado distribución de tamaño de partícula, concentración, diversas fuentes botánicas, perfiles de temperatura, así como herramientas matemática y empíricas para diversos fines.

El equipo proporciona durante la prueba un perfil de viscosidad aparente, dicho perfil muestra en el eje de las abscisas (X), el tiempo de prueba, en el eje coordenado (Y) a la derecha, es la temperatura, la línea punteada es el perfil de temperatura bajo el cual se corre la muestra; finalmente el eje coordenado (Y) a la izquierda es la viscosidad aparente medida por el equipo, cada uno de los parámetros son calculados por el software del equipo y son los siguientes:

- Temperatura de gel. Algunos autores la asumen como la temperatura de gelatinización, es la temperatura a la cual los gránulos de almidón están absorbiendo agua y empezando el proceso de hinchamiento.
- Tiempo pico. Es el tiempo en el cual ocurre la viscosidad máxima.

- Pico de viscosidad. Es el registro de viscosidad máxima, en este punto la mitad de los gránulos están totalmente hinchados y la otra mitad ha comenzado a exudar sus cadenas de amilosa y amilopectina.
- Fuerza de cohesión. Asociada a la viscosidad media.
- Ruptura. También conocida como caída de viscosidad y es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad media.
- Viscosidad final. Es la viscosidad a la cual llega la muestra después de finalizar la prueba.
- Restitución. Es la diferencia entre la viscosidad media y la viscosidad final, está asociada con la retrogradación del almidón (Acosta, 2013).

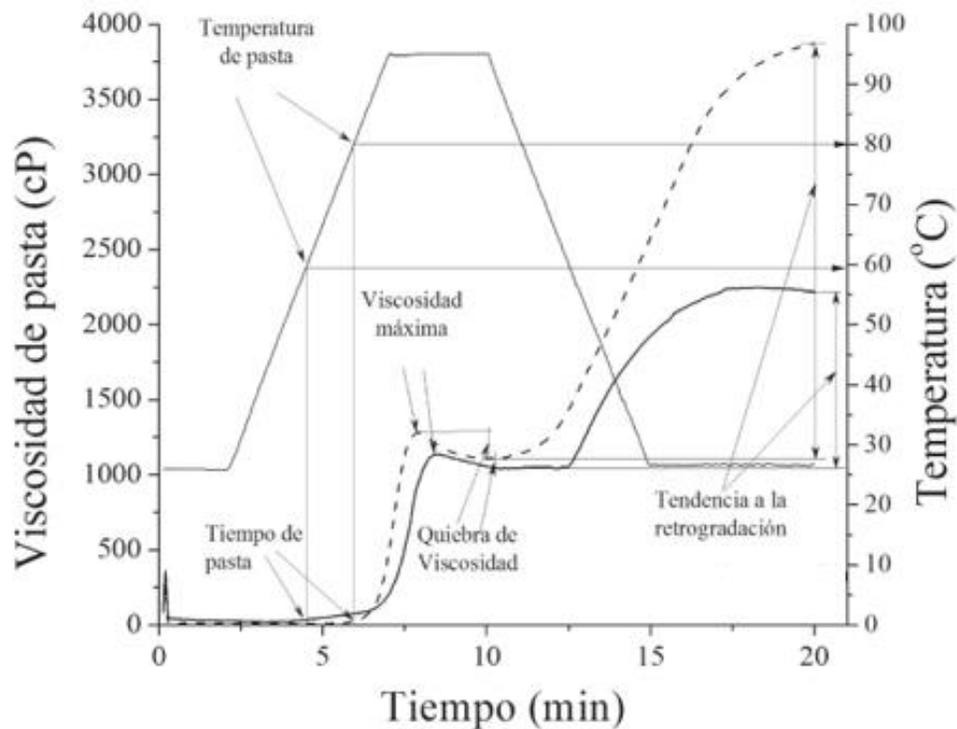


Figura 15: Perfil de Viscosidad Aparente de un RVA.

3.3 DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido)

Los métodos calorimétricos se han aplicado extensivamente en el estudio de la estructura y las transiciones de fase del almidón, compuestos inorgánicos, polímeros y alimentos, el propósito de estos instrumentos térmicos es registrar la diferencia térmica entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan (Tovar, 2008).

El método consiste en proporcionar un flujo de calor, a velocidad constante, a la muestra y a un material de referencia de composición conocida que se sabe que no sufre cambios en el intervalo de temperaturas en que se realizará la determinación. La transmisión de calor es instantánea, por eso se trabaja con muestras muy pequeñas. Las muestras se colocan en crisoles que pueden ser cerrados herméticamente, lo que impide que se produzcan cambios de humedad. Es muy importante que el contenido de agua de las muestras permanezca constante, puesto que la cantidad de ella tiene una gran influencia sobre la temperatura a la cual se produce la determinación (Martínez, et al, 1999).

Lo que se registra es la diferencia en el flujo de calor que hay que suministrar a la muestra y a la referencia para mantener la misma temperatura en ambas. Si la muestra tiene una capacidad calorífica mayor que la referencia, habrá que suministrarle más calor para mantener constantes las temperaturas: hay una diferencia en flujo de calor suministrado que es proporcional a la diferencia de capacidades caloríficas de la muestra y la referencia (Marínez, et al, 1999).

Ésta técnica se utiliza para detectar cambios endotérmicos y exotérmicos que ocurren durante la medida dinámica en función de la temperatura. Las transiciones de primer orden producen picos y las de segundo orden saltos en el flujo de calor.

3.4 Pruebas Oscilatorias.

La reología se aboca al estudio de las propiedades mecánicas de materiales cuando estos están sujetos a una deformación. La reometría es una parte de la reología que se encarga de medir experimentalmente algunas de éstas propiedades (Acosta, 2013).

Una forma de explorar la rapidez de reordenamiento estructural de un fluido complejo es imponerle un flujo oscilatorio de pequeña amplitud. Este tipo de flujo aplica una pequeña deformación sinusoidal, con toda precisión y control. En particular, es generalmente conveniente aplicar una deformación de pequeña amplitud, se dice que lineal, la cual no deforma significativamente la microestructura del fluido (Rojas, 2012). Si la amplitud de deformación γ_0 , es pequeña (típicamente $\gamma_0 < 1$), la estructura del fluido no es perturbada demasiado por la deformación. El esfuerzo medido durante la deformación oscilatoria es función de la rapidez de reordenamiento espontáneo de la estructura, o relajación presente en el fluido.

El esfuerzo (t) producido por una deformación de amplitud pequeña es proporcional a la amplitud de deformación aplicada γ_0 . El esfuerzo, al igual que la deformación, varía sinusoidalmente con el tiempo. Sin embargo, el esfuerzo o torque medido no está necesariamente en fase con la deformación. Esto se expresa matemáticamente como sigue:

$$\gamma = \gamma_0 \text{ sen } \omega t \dots \dots \dots (4)$$

y

$$\tau = \tau_0 \text{ sen } (\omega t + \delta) \dots \dots \dots (5)$$

En las Ecuaciones 4 y 5, ω representa la frecuencia de oscilación, τ la amplitud del esfuerzo y δ el ángulo de desfaseamiento entre el esfuerzo y la deformación.

Si descomponemos la onda del esfuerzo en dos ondas de la misma frecuencia, una en fase con la deformación y la otra desfasada 90° , tenemos que:

$$\tau = \tau' + \tau'' = \tau' \text{ sen } \omega t + \tau'' \text{ cos } \omega t \dots \dots \dots (6)$$

Y la fase entre esfuerzo y deformación está dada por:

$$\tan \delta = \frac{\tau''_0}{\tau'_0} \dots \dots \dots (7)$$

De la descomposición del esfuerzo se pueden obtener dos módulos:

$$G' = \frac{\tau'_0}{\gamma_0} \dots \dots \dots (8)$$

Y

$$G'' = \frac{\tau''_0}{\gamma_0} \dots \dots \dots (9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (8) y (9) en (6) se obtiene:

$$\tau(t) = \gamma_0 [G'(\omega) \text{sen}(\omega t) + G''(\omega) \text{cos}(\omega t)] \dots \dots (10)$$

Esta ecuación representa el esfuerzo en flujo oscilatorio de pequeña amplitud. El término G' , llamado módulo de almacenamiento, está en fase con la deformación (γ).

Mientras que G'' está en fase con la rapidez de deformación ($\dot{\gamma}$) y es denominado módulo de pérdida. El módulo de almacenamiento representa el almacenamiento de energía elástica y el módulo de pérdida la disipación viscosa de energía. Los materiales que son llamados viscoelásticos presentan estos dos módulos.

La razón de G''/G' es llamada tangente de pérdida ($\tan \delta$). El valor de $\tan \delta$ es alto ($\gg 1$) para materiales que son más líquidos (Rojas, 2012). Mientras que para materiales más sólidos, es bajo ($\ll 1$).

II. JUSTIFICACIÓN

- ▶ En las últimas décadas se ha presentado una marcada tendencia hacia el consumo de comida rápida y pobre en nutrientes, debido al agitado ritmo de vida de las personas; éstas, se inclinan mayormente hacia productos prácticos, sin importar lo nutritivos que puedan o no llegar a ser.
- ▶ Éste comportamiento ha sido el principal causante de que se presenten con mayor frecuencia problemas de salud en la población, tales como: diabetes, colesterol elevado, hipertensión, cáncer, etc.
- ▶ Tal problema podría corregirse usando como alternativa compuestos aislados que contengan sustancias benéficas al ser humano; entre los cuales se encuentran algunos de naturaleza polisacárida (fibra, fructanos, almidón resistente), encontrados principalmente en cereales, así como en raíces y tubérculos.
- ▶ Dichos compuestos han sido mayormente estudiados en la actualidad y se ha descubierto que al ser consumidos otorgan diversos beneficios en la salud, tales como: efecto prebiótico, prevención de ciertas enfermedades, mejor metabolismo de lípidos y mayor disponibilidad de minerales. Es por ésta razón que en el presente proyecto se decidió extraer y cuantificar éste tipo de carbohidratos: Fructanos, almidón y almidón resistente.
- ▶ Así mismo y tomando en cuenta todo lo anterior, se decidió trabajar con raíz de *Sechium edule* (chinchayote) como matriz, a partir de la cual se realizó la extracción de los compuestos anteriormente mencionados ya que además de ser un alimento pobremente estudiado también es más económico que otros alimentos a partir de los cuales se pueden obtener.

2.1 OBJETIVOS:

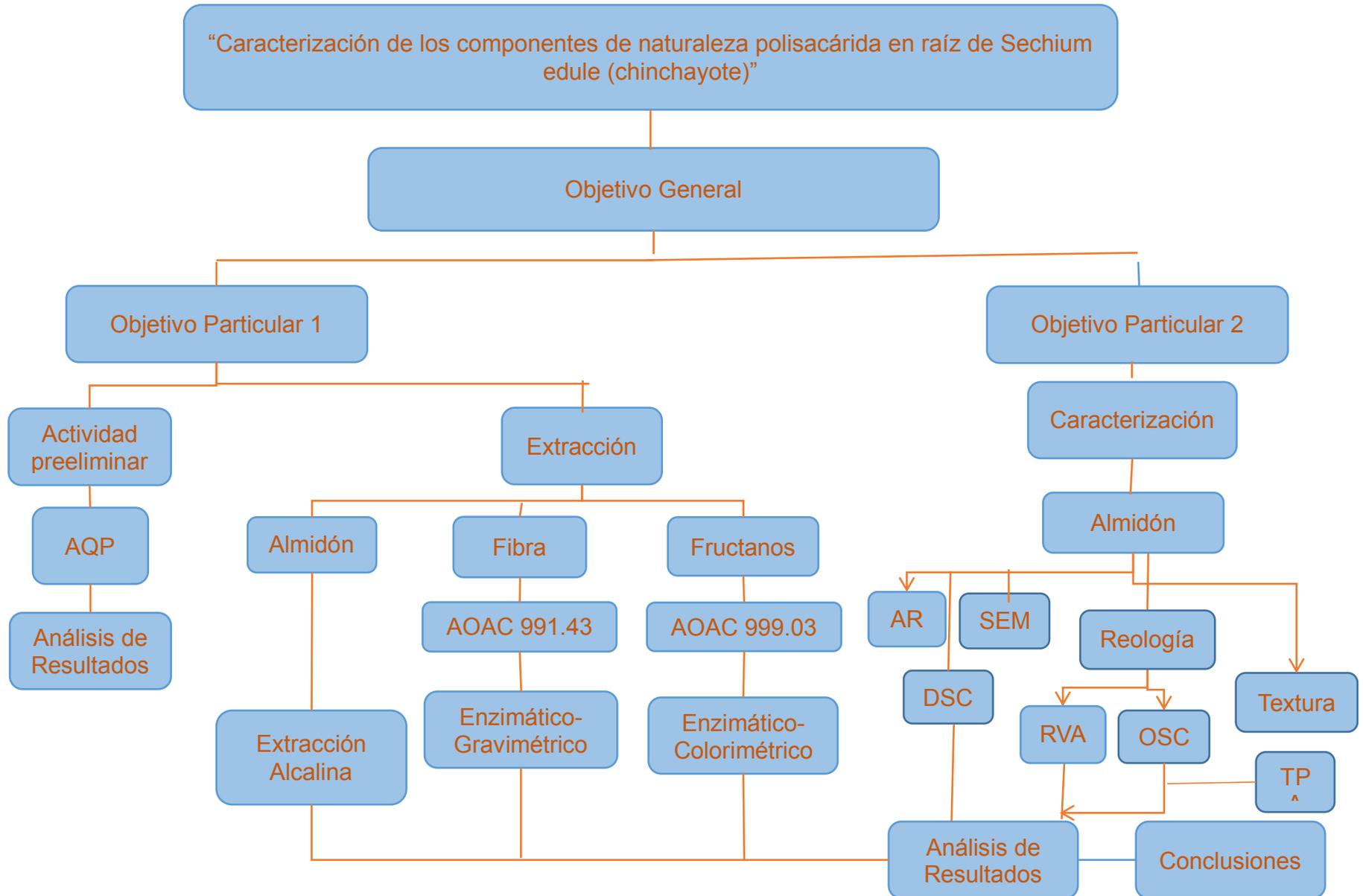
Objetivo General:

Extraer, determinar y Caracterizar los componentes de naturaleza polisacárida (fibra, almidón y fructanos) presentes en la raíz de *Sechium edule*, mediante métodos analíticos e instrumentales.

Objetivos particulares:

1. Realizar un AQP de la raíz de *Sechium edule*.
2. Extraer y cuantificar fibra, almidón y fructanos presentes en *Sechium edule*, a través de métodos analíticos-gravimétricos para su posterior caracterización.
3. Caracterizar física, reológica y texturalmente el almidón extraído mediante métodos instrumentales para identificar su posterior aplicación en el área de la salud.

2.2 Cuadro Metodológico.



III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3. Materiales y Métodos.

3.1. Reactivos:

La materia prima vegetal utilizada para dicho proyecto, “Chinchayote” (raíz de *Sechium edule*), fue adquirida específicamente de la zona de Zamora, la cual se encuentra ubicada en el Estado de Michoacán. Mientras que los reactivos químicos para cada análisis fueron obtenidos por diversas empresas, tales como: Aldrich-Sigma y Megazyme, entre otros

3.2. Acondicionamiento de la Materia Prima.

Debido a que la materia prima utilizada se encontraba fresca, se realizó un acondicionamiento previo para disminuir el contenido de humedad. Para ello se realizó un lavado pieza a pieza; posteriormente se realizó un pelado de los mismos, para concluir con un rebanado manual en fino de manera tal que el espesor fuera mínimo posible, con la finalidad de aumentar el área superficial del vegetal al someterlo a secado, se dejó una porción del material sin rebanar sólo para el análisis de humedad, una vez que se llevó a cabo el rebanado del material restante, las rodajas fueron acomodadas en distintas charolas de acero inoxidable, tratando de dispersar perfectamente el material en toda el área, tal y como se muestra en la figura 16.



Figura 16: Acomodo de chinchayote rebanado en charolas.

Una vez que se contó con las rodajas en las charolas el material vegetal se sometió a un proceso de secado en estufa a vacío con una temperatura de 60 °C (4 días). Transcurrido dicho tiempo se procedió a realizar una molienda del mismo en un molino de martillos marca Thomas Scientific™ con una rejilla de salida de diámetro de partícula igual a 1mm. Sin embargo dado a que la técnica para determinación de fructanos requiere un tamaño de partícula de 0.5mm se realizó un tamizado, haciendo uso de un juego de tamices de acero inoxidable con mallas número 10, 20 y 40 respectivamente.



Figura 17: Chinchayote molido y tamizado.

3.3. Análisis Químico Proximal (AQP).

Un análisis Químico proximal general, sirve para dar una idea más clara y aproximada de la composición de un alimento en lo que se refiere a cada elemento nutricional que lo compone, entre ellos están: contenido de humedad, proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas principalmente.

- **Humedad.** Se realizó por la técnica oficial marcada en la Norma Mexicana **NMX-F-083-1986**. Método General de Secado en Estufa, para ello la muestra húmeda fue troceada finamente, se pesó una cantidad de muestra de 3.0 g en cajitas metálicas con diámetro de 5.0 cm aproximadamente, dicho análisis

se realizó con 9 réplicas, en un horno de convección marca Felisa, a una temperatura de 100 °C por un período de 3 h.

- **Lípidos.** Este análisis se llevó a cabo mediante la técnica oficial expuesta en la Norma Mexicana **NMX-F-089-S-1978**. Método de extracción con solventes orgánicos (Soxhlet). Para éste análisis se utilizó la materia prima seca (harina de chinchayote) que se obtuvo durante el acondicionamiento previo, se pesó una cantidad de muestra de 4.0 g en papel filtro, mismo que se introdujo en un cartucho de celulosa tal y como lo indica la técnica, la extracción se realizó ocupando como solvente hexano, por un tiempo de 6 h. El estudio se hizo por triplicado.

- **Cenizas/Minerales.** Se realizó por el método oficial estipulado en la Norma Mexicana **NMX-F-066-S-1978**. Incineración Directa, dicho análisis se realizó utilizando una cantidad de muestra de 3g los cuales fueron pesados en crisoles de porcelana, procediendo a la primera etapa en donde se sometió la muestra a una incineración directa con apoyo de mechero Fisher, hasta que la muestra se combustionó completamente y las cenizas obtenidas alcanzaron un color gris predominante, posteriormente se realizó una segunda etapa en la cual los crisoles fueron introducidos en una mufla a una temperatura de 500 °C, por un período de tiempo de 5 hrs. El estudio se realizó por triplicado.

- **Proteína.** La metodología seguida fue la marcada en la técnica oficial presente en la Norma Mexicana **NMX-F-068-S-1980**. Determinación de proteínas por Microkjeldahl, para dicho análisis se ocupó un tamaño de muestra de 0.5g debido a que el contenido de las mismas en el tubérculo es muy pequeño, el estudio se realizó por triplicado.

- **Carbohidratos.** Una vez que se realizaron las determinaciones de todos los demás elementos que componían el AQP del chinchayote, se procedió a calcular por diferencia el contenido de Carbohidratos presentes, esto

realizando una simple sustracción entre el 100% total que representa el alimento y restando el contenido de cada una de las determinaciones a éste.

3.4. Extracción y Determinación de Fructanos.

El análisis de fructanos se realizó siguiendo la metodología establecida en el método oficial 999.03 estipulado en AOAC para determinación de polisacáridos Fructanos y Fructooligosacáridos (FOS), para el desarrollo del mismo, se adquirió y se hizo uso del Kit de fructanos marca Megazyme, específico para dicho análisis, el cual se llevó a cabo por triplicado, haciendo uso de una cantidad de muestra (harina de chinchayote con diámetro de partícula de 0.5mm) igual a 1.0g para cada ensayo.

La prueba se llevó a cabo considerando que la muestra contenía 0-12% (m/m) de fructanos; durante el desarrollo, las etapas de incubación que marca la técnica se realizaron en una incubadora marca Incu-Shaker™ modelo 10LR Marca Benchmark a 40 °C por 30 min y las medidas de absorbancia se obtuvieron mediante un espectrofotómetro Thermo Scientific, Multiskan Go marca Accesolab.

Finalmente los cálculos de contenido de fructanos se obtuvieron mediante la ecuación (11) o (12).

$$\% \text{ Fructanos } \left(\frac{\text{m}}{\text{m}} \right): \Delta A \times F \times 5 \times V \times \frac{1.1}{0.2} \times \frac{100}{W} \times \frac{1}{1000} \times \frac{162}{180} \dots \dots \dots (11)$$

$$\% \text{ Fructanos } \left(\frac{\text{m}}{\text{m}} \right): \Delta A \times F \times \frac{V}{W} \times 2.48 \dots \dots \dots (12)$$

En donde:

ΔA = Absorbancia de la muestra – Absorbancia del blanco (ambos leídos contra el reactivo blanco).

F = Factor para convertir los valores de absorbancia a μg de D-Fructosa = (54.5 μg D-Fructosa) / (absorbancia para 54.5 μg D-Fructosa).

5 = Factor para convertir 0.2 ml de ensayo a 1.0 ml.

V = Volumen (ml) de extracto usado (50 o 100 ml).

1.1/ 0.2 = 0.2 ml tomados de 1.1 ml de la digestión de la enzima para el análisis.

W = peso (mg) de la muestra extraída.

100/W = Factor para expresar fructanos como porcentaje del peso de la harina.

1/1000 = Factor para convertir µg a mg.

162/180 = Factor para convertir de D- Fructosa libre, determinada, a anhidrofructosa (y anhidroglucosa), como ocurre en fructanos.

3.5. Determinación de Fibra Dietética.

El análisis de fibra dietética se realizó por la técnica 991.43 marcada en AOAC, la cual es para determinación de Fibra Dietética Total, Soluble e Insoluble, para ello se adquirió un kit con las enzimas necesarias para dicho estudio de la marca Sigma Aldrich, su utilizó una cantidad de muestra de 1g y se realizó por duplicado. Para los tiempos de incubación marcados en la técnica, se utilizó un baño de calentamiento marca Lindberg/blue M, modelo SWB1122A-1 Waterbath; así mismo, se realizó determinación de cenizas y proteína ya que esos valores eran requeridos en la técnica descrita.

Los cálculos para dicho análisis se llevaron a cabo mediante las siguientes fórmulas:

➤ Determinación del Blanco:

$$B = \left[\frac{(BR_1 + BR_2)}{2} - P_B - A_B \right] \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

B=Blanco (mg)

BR₁ y BR₂= Son los pesos en mg de los residuos por duplicado de la determinación de blancos.

P_B= peso en mg de proteína.

A_B= peso en mg de cenizas.

➤ Determinación de Fibra Dietética:

$$FD = \frac{\left\{ \left[\frac{(R_1 + R_2)}{2} \right] - P - A - B \right\}}{\left[\frac{(M_1 + M_2)}{2} \right]} * 100 \dots \dots (14)$$

Donde:

FD= Fibra Dietética (g/100g).

R₁ y R₂ = pesos en mg de los residuos de las muestras por duplicado.

P= Peso en mg de proteína para las muestras.

A= Peso en mg de cenizas obtenidos para las muestras.

B= peso del blanco.

M₁ y M₂= Pesos en mg de las muestras.

3.6. Extracción de Almidón.

La extracción de almidón se realizó siguiendo una metodología por método alcalino, la muestra inicial fue 300.0 g de harina, a los cuales se les realizó una primera extracción con una solución de NaOH al 0.25% (m/v), la cual se dejó en reposo durante 18 horas a temperatura de refrigeración (4 °C).

Una vez transcurrido el tiempo de reposo se procedió a realizar un lavado con agua destilada, utilizando un volumen aproximado de 200 ml, se mezcló la harina perfectamente con el agua e inmediatamente después se tamizó esta mezcla a una serie de tamices de acero inoxidable mallas 10, 20, 40, 60 y 80, siendo esta última la requerida para obtención de almidón.

El material líquido obtenido se vació en tubos eppendorf de 50ml, por otra parte el residuo retenido en las mallas de los tamices (considerado como fibra) fue recuperada y reprocesada realizando 6 lavados más repitiendo el proceso mencionado.

El líquido resultante contenido en los tubos eppendorf fue centrifugado en una centrífuga marca IEC talla Z modelo K, marca International Equipment Co. a una velocidad de 1450 rpm a temperatura ambiente por un tiempo de 10 min. El sobrenadante fue descartado y el precipitado fue resuspendido en agua destilada. Por otra parte al residuo de fibra recuperado de cada lavado y retenido en los tamices se le realizó una segunda extracción con la finalidad de obtener el mayor rendimiento posible de extracción, por lo cual se le adicionó nuevamente solución de NaOH y se repitió el mismo proceso ya descrito realizando esta vez sólo 4 lavados con agua destilada.

Finalmente el residuo final de fibra se sometió a un secado en estufa a 40 °C.

De manera independiente la fracción que se obtuvo de precipitado tras las centrifugaciones del almidón extraído en los tubos y que fue resuspendida en agua se neutralizó con una solución de HCl 1M hasta pH 7, posteriormente se centrifugó 2 veces más y se sometió a secado en estufa por 18 horas a una temperatura de 40 °C.

Por último el material seco obtenido: el residuo de fibra y el almidón, se almacenaron en bolsas de plástico a temperatura de refrigeración.

3.7. Determinación de Almidón Resistente (AR).

El análisis se realizó siguiendo la metodología descrita por el método oficial 2002.02 de AOAC, para ello se adquirió un kit de la marca Megazyme específico para determinación de Almidón Resistente, el método es básicamente enzimático-colorimétrico, durante su desarrollo se utilizó un tamaño de muestra de 100 mg, para la etapa de incubación se hizo uso de una incubadora Incu-Shaker™ 10LR marca Benchmark, a 37 °C por 16 horas, se utilizó una centrífuga marca Eppendorf, modelo 5430R, a 3000 rpm por un tiempo de 10 min.

El análisis se realizó por duplicado y se utilizaron las metodologías descritas para muestras conteniendo >10% de almidón resistente y para muestras que contenían < 10% de almidón resistente, además el estudio se le realizó a muestra de harina de chinchayote intacta y a muestra de almidón extraído por el método alcalino descrito

con anterioridad. Para obtener la medida de absorbancia se utiliza un espectrofotómetro Thermo Scientific, Multiskan Go marca Accesolab.

Por último el cálculo de contenido de almidón resistente se llevó a cabo por medio de las ecuaciones (15 o 16) y (17 o 18) respectivamente:

Cálculo de Almidón resistente en muestras que contienen > 10%.

$$\checkmark \% AR (> 10\%) = \Delta E \times F \times \frac{100}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \dots \dots (15)$$

$$\% AR (> 10\%) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 90 \dots \dots (16)$$

Cálculo de Almidón resistente en muestras que contienen < 10%.

$$\checkmark \% AR (< 10\%) = \Delta E \times F \times \frac{10.3}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \dots \dots (17)$$

$$\% AR (< 10\%) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 9.27 \dots \dots (18)$$

3.8. Caracterización de Almidón.

3.8.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Para este análisis fue necesario considerar algunos aspectos tales como que la muestra fuera en polvo (se encontraba deshidratada) y al ser orgánica debido a su origen vegetal fue necesario, realizarle un recubrimiento con oro en un equipo Denton Vacuum Desk IV y someterlo a vacío, para posteriormente ser observado en el microscopio el cual para este análisis fue JEOL, modelo JSM-6390LV Scanning Electron Microscope.

3.8.2. Análisis de RVA.

En el desarrollo de este análisis se tuvo que tomar en cuenta diferentes factores, uno de ellos fue que se le realizó a el almidón obtenido de chinchayote y a dos

muestras de almidones de diversas fuentes los cuales fueron provenientes de maíz y de papa, con la finalidad de poder realizar una comparación entre el comportamiento que reflejaran los mismos.

La primera consideración que se hizo fue el contenido de humedad de las muestras de cada almidón, esta se obtuvo por el método general de secado en estufa, el cual para almidón de maíz fue de 11.23% y para papa de 13.45%, estos valores si se encuentra en la tabla de análisis de RVA estandarizada, por lo cual para estas muestra no hubo problema en realizar el método, basándonos en 3 g de muestra; para maíz se pesaron 2.91 g de muestra y se agregaron 25.1 ml de agua destilada, para el de papa se pesaron 2.98 g de muestra y se adicionaron 25.0 ml de agua destilada. Sin embargo la cantidad de humedad presente en el almidón de chinchayote fue mucho menor a la registrada en tablas estandarizadas ya que fue de 6.76%, por lo cual se realizó el cálculo de muestra por medio de las formulas siguientes:

$$S = \frac{86 \times A}{100 - M} \dots \dots (19)$$

En donde:

S = gramos de muestra

A = gramos de muestra estandarizados (o de base).

M= humedad determinada para la muestra.

Teniendo así:

$$S = \frac{86 \times 3}{100 - 6.76} = 2.77$$

Por lo cual los gramos de muestra pesados fueron 2,77 g.

Para calcular la cantidad de agua a adicionar se utilizó la siguiente ecuación:

$$W = 25 + (A - S) \dots \dots (20)$$

Donde W representa los mililitros de agua a adicionar.

Finalmente quedando:

$$W = 25 + (3 - 2.77) = 25.23$$

Una vez teniendo las proporciones de muestra y cantidad de agua respectivamente para cada tipo de almidón se procedió a realizar la prueba en un RVA Rapid Viscoanalyzer marca Newport Scientific, en un intervalo de temperatura de 50 a 90°C, a una velocidad de 160 rpm por un tiempo estimado de 16min, obteniendo de esta manera los gráficos con el perfil de viscosidad.

3.8.3. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

Esta prueba se llevó a cabo en un equipo Differential Scanning Calorimeter Pyris 1 marca Perkin Elmer y se realizó para los cuatro diferentes tipos de almidones chinchayote, maíz, papa y almidón acetilado respectivamente, la muestra fue hidratada en una relación 1:4 (m/v) con agua destilada y se dejó reposar durante 1 hora, posteriormente pesando en pequeñas cápsulas especiales una cantidad de muestra hidratada de aproximadamente de 2 a 2.5 mg, una vez conteniendo las muestras las capsulas fueron cerradas y selladas herméticamente para prevenir cualquier variación en la humedad de las mismas durante la medición. Se manejó un intervalo de temperatura de 30 a 200°C, obteniéndose finalmente los gráficos respectivos de cada análisis y los parámetros de interés.

3.8.4. Pruebas oscilatorias.

Las pruebas oscilatorias para almidón se realizaron en un Reometro Rheowin RT20 marca HAAKE, a temperatura ambiente 25°C ± 1°C, el estudio se llevó a cabo para almidones de chinchayote, maíz y papa respectivamente, las concentraciones manejadas para dicho análisis fueron: 0,5, 1.0 y 2.0 % para cada uno. Las geometrías requeridas fueron: placa PP35 para las formulaciones con

concentraciones de 1.0 y 2.0 % de almidón y cono C60/1° para las formulaciones al 0.5%.

Primeramente se realizó un barrido de esfuerzo para cada formulación manejando un intervalo de 40-100 Pa, frecuencia de 1 Hz, número de puntos igual a 20 ajustando a un comportamiento lineal. Con la finalidad de obtener el intervalo de Frecuencias en el cual se obtendría el comportamiento del almidón. Es por ello que al obtener el comportamiento lineal se procedió a realizar ahora un barrido de frecuencia utilizando un intervalo de 0.01-40 Hz, con un esfuerzo de 80 Pa. Obteniéndose finalmente los gráficos correspondiente a cada formulación y los parámetros más importantes G' y G'' . El análisis se realizó por duplicado.

3.8.9. Pruebas de Análisis de Perfil de Textura (TPA).

Para el análisis de perfil de textura se procedió a preparar muestras de almidones de chinchayote, maíz y papa, las cuales se obtuvieron de la misma manera que para análisis de RVA, se prepararon 6 muestras de cada tipo de almidón debido a que el estudio se realizó por triplicado a las 24 horas de haber obtenido las muestras e igualmente se repitió el proceso por triplicado después de 8 días de haber realizado el primer análisis, con el objetivo de comparar si había algún cambio en la estructura de los geles formados.

Para dicho análisis se hizo uso de un texturómetro Texture Analyser TA-XT2i, marca Texture Technologies Corp, con las siguientes condiciones: se manejaron dos ciclos de compresión tal y como lo marca la técnica para un TPA, a velocidad de descenso del dispositivo fue de 5mm/s, la distancia de penetración fue 20 mm, el tiempo de espera entre el primer y segundo ciclo fue de 5 s, la geometría utilizada fue cónica de 45°.

3.9 Aplicación del Almidón. Modificación Química.

3.9.1 Acetilación del Almidón de Chinchayote.

La modificación química del almidón de chinchayote extraído, se realizó siguiendo la metodología propuesta por Prieto (2010) con algunas modificaciones. Se dispersaron 20g de almidón en 47.0 ml de agua destilada, agitando durante 60 minutos a 25°C. Se añadieron 1.2 ml de anhídrido acético gota a gota a la suspensión agitada, manteniendo el pH dentro del intervalo 8,0 - 8,3 usando solución de NaOH al 3,0% (p/v). Se mantuvo la reacción durante 15 min. Finalizando dicho tiempo, la suspensión se ajustó a pH 4,5 con HCl 0,4N. El almidón obtenido fue lavado dos veces con agua destilada y centrifugado a 950 g por 10 minutos. Un tercer lavado se realizó con etanol al 96% (p/v). Finalmente, el almidón fue secado en un horno convectivo a 40°C por 24 horas, para posteriormente ser almacenado.

3.9.2 Determinación de grupos acetilo (%Ac) y grado de sustitución (GS).

La determinación del %Ac y GS se llevó a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por Salcedo (2010). Para el cálculo del %Ac, se utilizó un gramo (1 g) de almidón modificado en base seca que fue transferido a un matraz erlenmeyer de 250 ml, al cual se le agregaron 50 ml de agua destilada y dos gotas de fenolftaleína. La muestra fue neutralizada con NaOH al 0,1N. Posteriormente se adicionaron 25 ml de NaOH a 0,45N agitando vigorosamente la suspensión durante 30 minutos. Las muestras saponificadas fueron tituladas con HCl 0,8N utilizando fenolftaleína como indicador. Al mismo tiempo fue valorado el blanco usando almidón de chinchayote sin modificar.

El porcentaje de grupos acetilos sustituidos, se determinó basado en el volumen del ácido gastado como se muestra en la ec. (21), donde 0,043 son los miliequivalentes del grupo acetilo.

$$\text{Acetilos (\%)} = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml muestra}) * (N \text{ HCl} * 0,043 * 100)}{g \text{ muestra}(b.s)} \dots\dots\dots(21)$$

El grado de sustitución (GS) corresponde al número promedio de grupos acetilos introducidos por unidad de anhidro glucosa, calculado de acuerdo a la ec. (22), donde el valor de 162 equivale al peso molecular de la unidad de anhidro glucosa:

$$\text{Grado de sustitución (GS)} = \frac{(162) * \text{Acetilos (\%)}}{4300 - [42 * \text{Acetilos (\%)}]} \dots\dots\dots(22)$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Acondicionamiento a Materia Prima.

4.1.1. Rendimiento en Tamizado.

La cantidad de muestra que se obtuvo durante el acondicionamiento de Chinchayote después de la molienda fue de 1147.3g, la cual una vez tamizada presentó un rendimiento del 78%, el cual se muestra en la tabla 6, por lo tanto se puede decir que aun cuando el tamaño de partícula requerido para el análisis de fructanos era de 0.5mm (malla 40), la cantidad de muestra que cumplió con ello fue bastante elevada, ya que su rendimiento es mayor al 50%, teniendo con esto pérdida mínima de muestra, además es importante mencionar que el material retenido en las mallas anteriores se utilizó para otros análisis, es decir, en realidad no hubo desperdicio alguno de materia prima para el estudio.

Tabla 6. Rendimientos de Harina de Chinchayote obtenido por tamizado.

No. Malla	Peso (g)	Rendimiento (%)
20	23.2	2.02
40	223.8	19.5
Final	900.3	78.5

4.2. Análisis Químico Proximal (AQP).

Se obtuvieron los resultados de AQP completos para Harina de Chinchayote, los cuales se muestran en la tabla 7. En el mismo, se puede observar que en todas las determinaciones los resultados obtenidos se encuentran en el intervalo de los registrados teóricamente en tablas nutrimentales; así mismo los valores de desviación estándar calculados son pequeños, lo cual confirma que los resultados logrados experimentalmente son confiables, puesto que no existe gran dispersión de los datos con respecto a la media.

Tabla 7: AQP completo, experimental y teórico para Chinchayote.

Componente	Promedio (%)	Desv. Estándar	Teórico (%)
Humedad	74.85	3.69	71-79*
Lípidos	0.11	0.011	≤0.20*
Cenizas	4.54	0.66	-
Proteínas	1.67	0.16	2.0*
Carbohidratos	18.83	-	-

(* Muñoz, 2010)

Así mismo, se encontró que el componente mayoritario es agua con un 74.85%, seguido por carbohidratos (18.83%), con lo cual se corroboró que se contaba con una buena proporción de los mismos y de la cuales se podían extraer los polisacáridos de interés.

4.3 Extracción y Cuantificación de polisacáridos.

4.3.1 Extracción y determinación de Fructanos.

Tabla 8. Contenido de fructanos en distintos alimentos.

Alimento	% MH	% MS
Chinchayote		2.78
Alcachofa Jerusalem	19.4	
Camote rojo	0.19	
Camote blanco	0.05	
Camote amarillo	0.13	
Plátano	0.4	
Ajo	22.4	
Cebolla	2.49	
Trigo		0.7-2.9
Centeno		3.6-6.6
Agave azul	41.56	

(Kunchit, 2011)

En la tabla 8 se muestra el contenido de fructanos en material húmedo y seco respectivamente de diferentes fuentes o alimentos; así como el porcentaje obtenido experimentalmente en el tubérculo de chinchayote el cual fue de 2.78% en materia seca, dicho valor comparado con alimentos como cebolla, algunos cereales y las distintas especies de camote es bastante mayor; sin embargo al compararlo con alimentos que son principal fuente de fructanos como lo son la alcachofa o el agave, el contenido en chinchayote es mucho menor, es por ésta razón que no se decidió trabajar con éstos compuestos para caracterización estructural e identificación de los mismos, ya que representaba un porcentaje muy pequeño en el contenido de carbohidratos del material en estudio.

4.3.2 Determinación de Fibra Dietética.

Tabla 9. Contenido de Fibra Dietética en distintos alimentos.

Alimento	% FD
Chinchayote	3.84
Alcachofa Jerusalem	5.4
Papa	2.2
Camote rojo	3.0
Plátano	0.5
Ajo (cabeza)	-
Cebolla (cabeza)	-
Trigo (grano entero)	12.2
Centeno	14.6
Maíz (grano entero)	7.3
Yuca (raíz)	1.8

(INCAP y OPS, 2012)

En la tabla 9 se puede observar el porcentaje de fibra dietética para harina de chinchayote obtenida experimentalmente, así mismo se muestra el contenido teórico encontrado para otros alimentos, datos proporcionados por INCAP y OPS (2012) en tabla de composición de alimentos consultada. Gracias a los porcentajes teóricos se puede realizar una comparación en la cual la harina de chinchayote presenta mayor contenido de fibra dietética que algunos otros tubérculos tales como papa, camote y yuca así como plátano, ajo y cebolla, aún a pesar de que estos últimos son ricos en fructanos. Sin embargo en comparación con distintos tipos de cereales como lo son el trigo, centeno y maíz posee un menor porcentaje de éste componente, siempre y cuando se trate de granos enteros, motivo por el cual se puede decir que la harina de chinchayote es una buena fuente de fibra dietética y representaría una buena alternativa para aquellas personas que regularmente no consumen cereales (siendo la principal fuente), por ser intolerantes al gluten.

4.3.3 Extracción Alcalina de Almidón.

Se partió de una muestra inicial de 300g de harina de chinchayote, de los cuales se obtuvieron por extracción alcalina 228.8g de almidón, que representan el 76.3% del total inicial, mostrando con ello que el rendimiento por éste método es realmente bueno, afirmación que se aseveró primeramente al haber obtenido más del 50% lo cual ya lo hace viable químicamente y posteriormente corroborándolo al comparar los rendimientos obtenidos para otros alimentos ricos en almidón, los cuales se pueden observar en la tabla 10, en donde se muestra que el valor de rendimiento obtenido para chinchayote comparado con cebada, arroz o mango, es mayor y aún en el caso de alimentos que son principal fuente de dicho componente, como es el caso de: plátano o yuca, aunque el porcentaje es menor, sigue siendo un valor elevado que a su vez indica que es el componente que se encuentra en mayor proporción en el contenido de carbohidratos de la materia prima en cuestión, motivo por el cual se decidió elegirlo para ser el polisacárido a caracterizar morfológica, reológica y texturalmente.

Tabla 10. Rendimientos de almidón para distintos alimentos.

Alimento	% de Almidón
Chinchayote	76.3
Plátano	94.48
Yuca	94.46
Cebada	57.3
Papa	60-80
Arroz	55.85
Mango	42.9

Jiménez, 2011

4.4 Caracterización de almidón de Chinchayote.

4.4.1 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

Al realizar la extracción alcalina del almidón se obtienen 2 fases, una de ellas es la porción de fibra que se encontraba en la harina de chinchayote y la otra perteneciente a los gránulos de almidón como tal, lo cual se logró visualizar de mejor manera mediante las micrografías obtenidas. La figura 18 muestra la fase correspondiente a fibra en donde se puede observar que ya no se distinguen gránulos de almidón, sino simplemente una superficie lisa y con ligera forma de red, ésta representa la matriz de donde se extrajo el almidón; así mismo, al no presentar residuos de almidón se puede aseverar que el método utilizado para extracción fue efectivo.

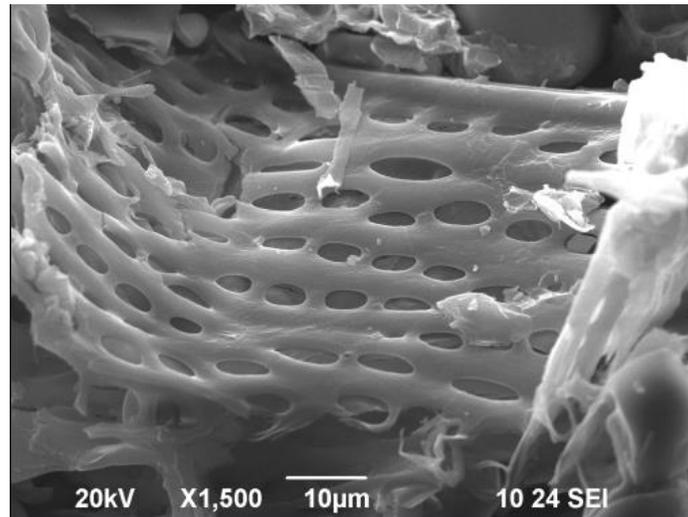


Figura 18: Micrografía de la parte de fibra de chinchayote.

Por otra parte la figura 19 muestra la micrografía de la fase de almidón extraído, en ella se puede observar que para raíz de chinchayote, la morfología de los gránulos predominante es esférica, con un tamaño de partícula presente en un intervalo de 5-30µm. De igual forma se puede analizar que el almidón obtenido de chinchayote en cuanto a éstos dos parámetros: morfología y tamaño, es muy parecido a los extraídos de maíz, amilomaíz y tapioca, lo cual se puede observar claramente en la tabla 11, donde se tiene una comparación entre almidones provenientes de distintas

fuentes vegetales, esto también confirmando que “El almidón está organizado en partículas discretas, la forma, tamaño, morfología y estructura depende de la fuente botánica. El tamaño de los gránulos puede estar en un rango de 1µm hasta 100µm, su forma puede ser regular (esférica, oválos o irregulares)” (Tovar, 2008); logrando corroborar de ésta manera todo lo antes mencionado, mediante las micrografías realizadas a las muestras de almidón extraído.

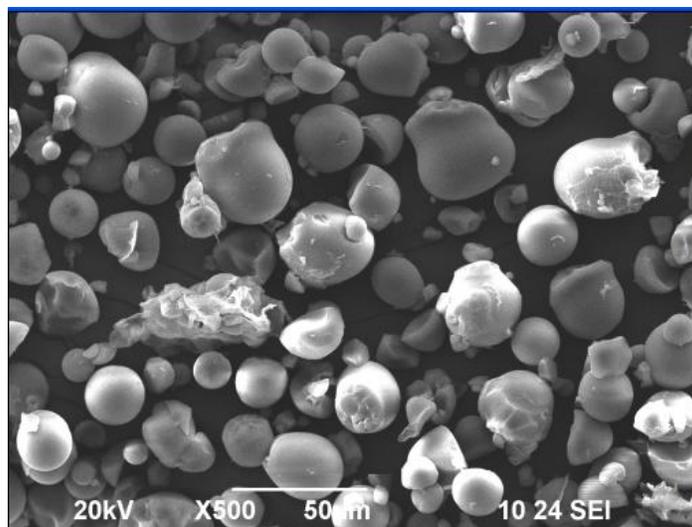


Figura 19: Micrografía del almidón de chinchayote extraído.

Tabla 11. Características de gránulos de Almidón de distintas fuentes.

Fuente de Almidón	Tipo	Forma	Tamaño (µm)
Chinchayote	Tubérculo	Esférica	5-30
Maíz (ceroso y normal)	Cereal	Esférica/Poliédrica	2-30
Amilomaíz	Cereal	Irregular	2-30
Chícharo	Leguminosa	Rentiforme	5-10
Papa	Tubérculo	Lenticular	5-100
Arroz	Cereal	Poliédrica	3-8
Tapioca	Raíz	Esférica/Lenticular	5-45
Trigo	Cereal	Lenticular/Esférica	15-35
			2-10

(Tovar, 2008)

4.4.2 Cuantificación de Almidón Resistente (AR).

Los resultados obtenidos de porcentaje de almidón resistente tanto en harina como en almidón de chinchayote se encuentran registrados en la tabla 12, en él se puede observar que se encuentra AR en mayor proporción en harina de chinchayote (30.9%) que en almidón extraído de la misma fuente (12.67%), lo cual podría explicarse porque el método utilizado para cuantificación no distingue entre almidón y otros compuestos que resistan la hidrólisis enzimática, es decir, es muy probable que al realizar el análisis se haya cuantificado también fibra y fructanos en la determinación, esto solo en el caso de la harina de chinchayote, ya que en el caso del almidón si se aseguró que no existieran otros compuestos de éste tipo.

Por otra parte se realizó una comparación de cantidad de AR presente en distintos alimentos, donde se obtuvo que al compararlo con alimentos como plátano o frijol, la raíz de chinchayote tiene menor cantidad de AR; sin embargo, en comparación con papa, mango o incluso yuca que es principal fuente de almidón, posee mayor cantidad de almidón resistente lo cual ofrece una ventaja frente a almidones de otras fuentes.

Tabla 12. Almidón resistente presente en distintos alimentos.

Alimento	% de Almidón
Harina de Chinchayote	30.9
Almidón de Chinchayote	12.67
Plátano	49.98
Frijol	23.95
Papa	5.4
Mango	0.69
Yuca	0

(Jiménez, 2011)

4.4.3 Análisis de Viscosidad (RVA)

Para la caracterización reológica del almidón obtenido, se llevó a cabo un análisis de viscosidad (RVA), el cual se le realizó también a almidón de papa y maíz, para poder compararlos entre ellos ya que éstos dos últimos son los más comerciales, los resultados obtenidos se muestran en la figura 20, en la cual se puede observar que el almidón de chinchayote alcanza una viscosidad de casi 12000cp, comportamiento muy parecido al obtenido con almidón de papa, quedando con un valor de viscosidad mucho menor el de maíz con alrededor de 4000cp; así mismo se puede apreciar que los almidones de chinchayote y papa alcanzan su máxima viscosidad en menor tiempo que el de maíz; por otra parte se visualiza que una vez que los gránulos obtuvieron su máxima hidratación y colapsan, se resenta un decaimiento en los valores de viscosidad, el cual es muy evidente en el almidón de papa al observarse un marcado declive que va de los 12000 cp iniciales a 4000cp; caso que no se muestra en el de chinchayote, ya que su disminución en viscosidad no es tan pronunciada, pasa de los 12000cp a casi 10000 cp, lo cual representa una gran ventaja, ya que se relaciona indirectamente con el aumento en la vida de anaquel de productos que contengan almidón de chinchayote, ya que los productos que lo contengan no presentarán cambios en las características del mismo durante su almacenamiento o en dado caso presentarían un menor cambio durante su almacenamiento. En el caso del almidón de maíz se presenta una gran estabilidad en la viscosidad desarrollada, esto tomando en cuenta que su retrogradación es mínima; sin embargo la viscosidad que desarrolla es menor a la de los otros dos almidones, por lo cual depende demasiado la aplicación a la que se dirija este tipo de almidón, ya que si se requiere la formación de un gel más fuerte no sería muy recomendable aun cuando no presente retrogradación, en esos casos será mejor utilizar el proveniente de chinchayote.

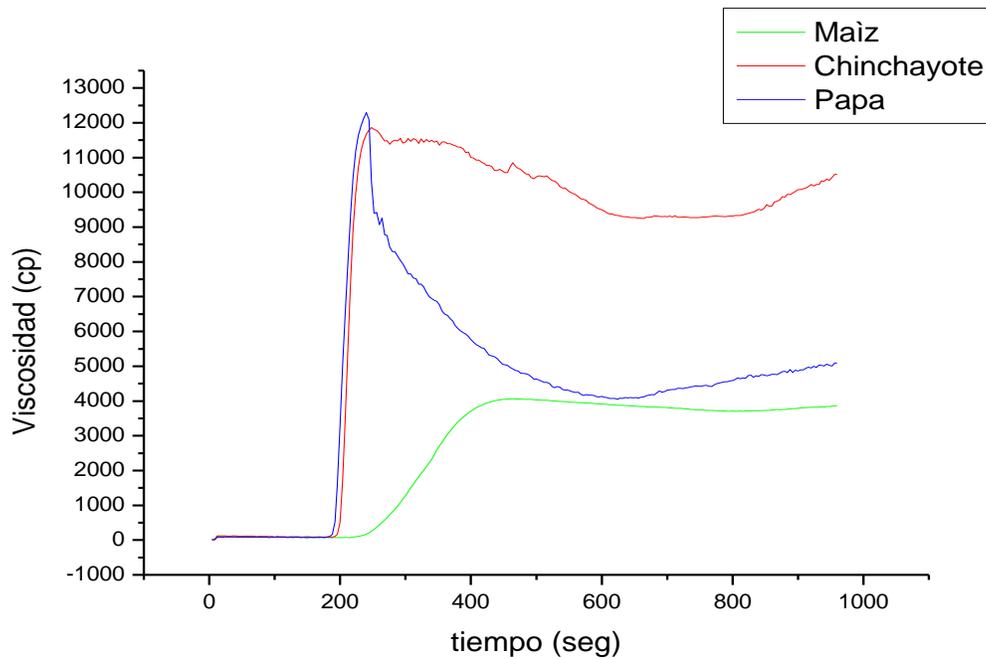


Figura 20. Gráfico comparativo de Viscosidad- Almidones.

4.4.4 Pruebas Oscilatorias.

Para las pruebas oscilatorias se realizó primeramente un barrido de esfuerzo de 40-100 Pa, con la finalidad de conocer el valor de esfuerzo en el que finalmente se trabajaría, para lo cual dicho valor se tomó dentro del intervalo donde el comportamiento fue lineal.

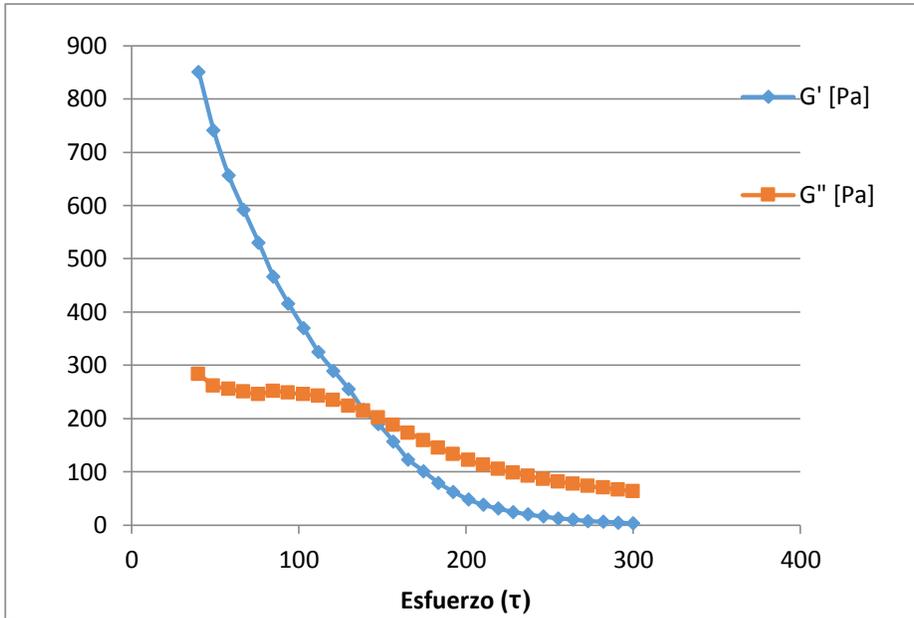


Figura 21: Gráfico de esfuerzo para almidón de chinchayote al 1 %.

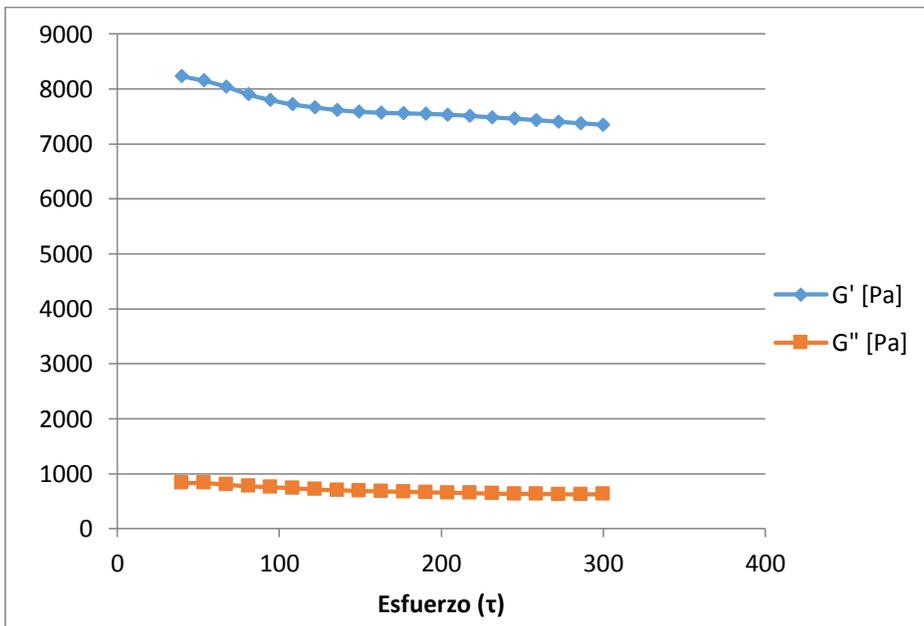


Figura 22: Gráfico de esfuerzo para almidón de chinchayote al 2 %.

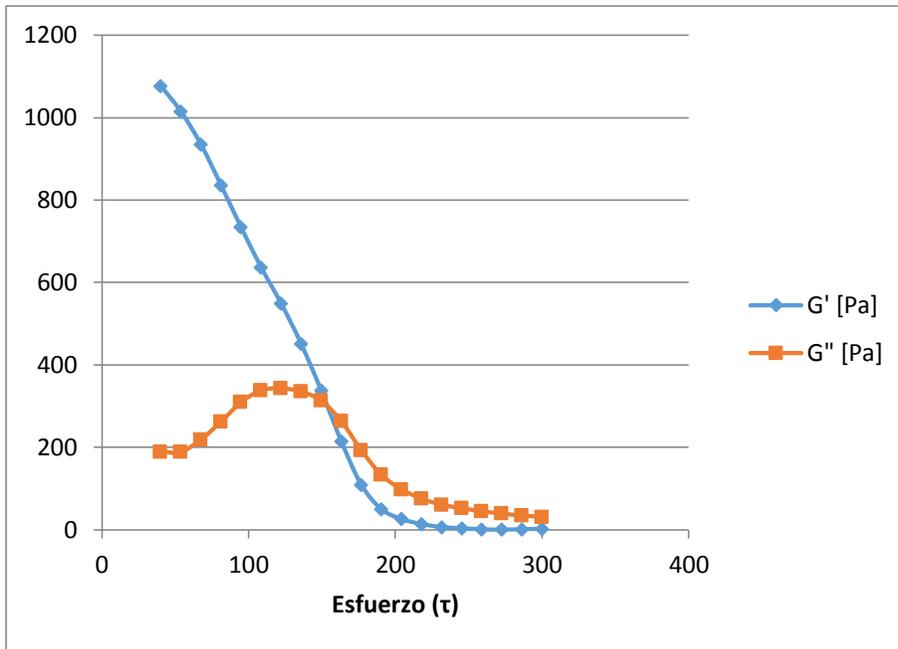


Figura 23: Gráfico de esfuerzo para almidón de maíz al 1 %.

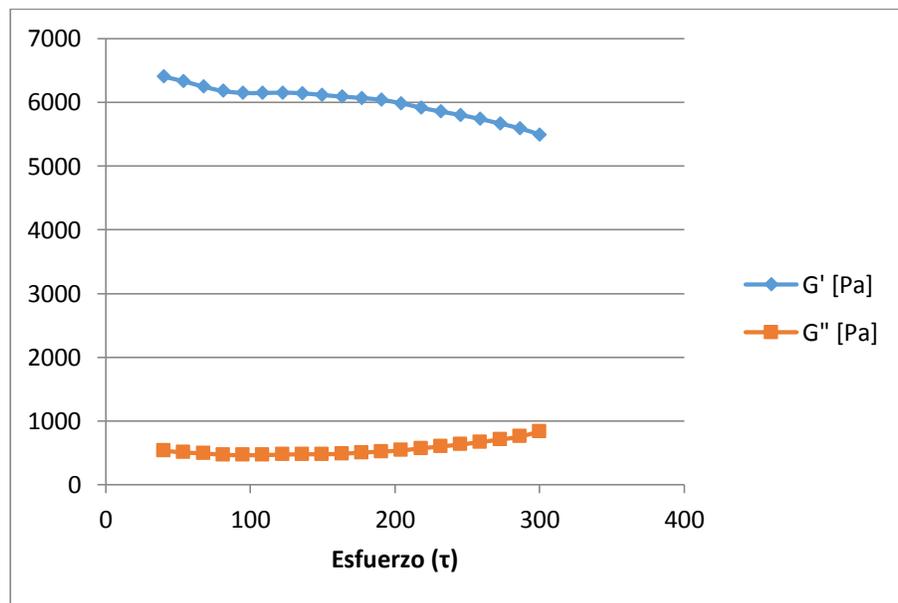


Figura 24: Gráfico de esfuerzo para almidón de maíz al 2 %.

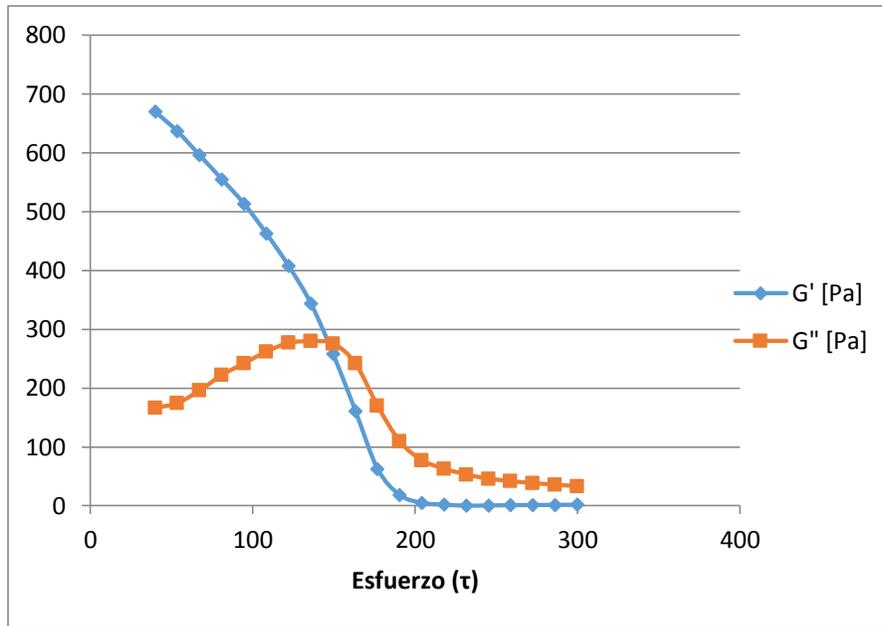


Figura 25: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 1 %.

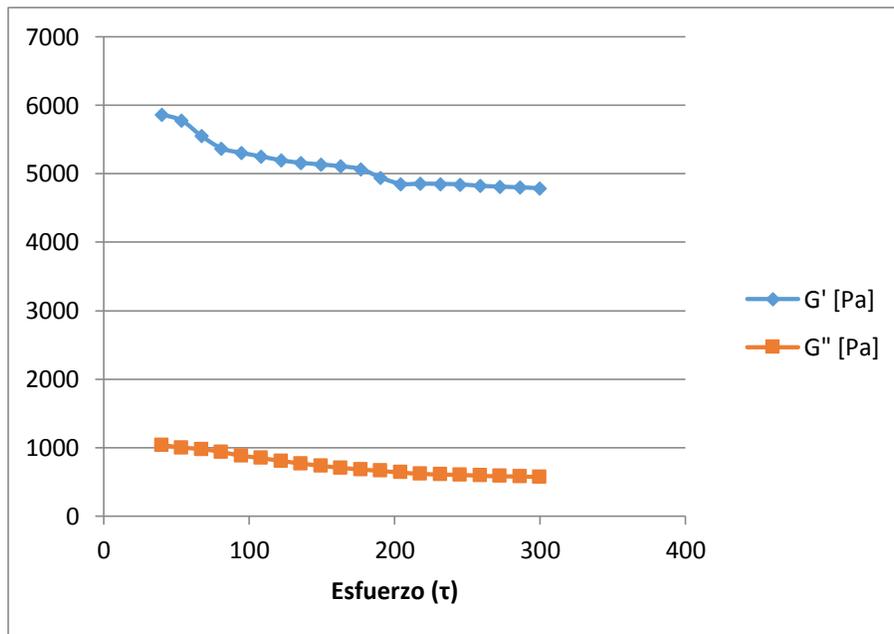


Figura 26: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 2 %.

Dichos resultados se presentan en los gráficos de las figuras 21-26, en donde se puede observar que para el caso de concentraciones del 1 y 2% de todos los tipos de almidón efectivamente existe un intervalo donde se presenta un comportamiento lineal, dentro del cual se eligió utilizar el valor de 80 Pa debido a que en este valor existe linealidad para todo los casos mencionados.

En el caso de las concentraciones menores, es decir las de 0.5% se realizó el mismo barrido de esfuerzo pero utilizando otro tipo de geometría que si logrará detectar el comportamiento de dicha concentración, donde se obtuvo un valor de esfuerzo de 8, esto solo para almidones de chinchayote y papa, ya que el de maíz a 0.5% se presentó como una solución, que no logró detectarse, éstos resultados se muestran en las figuras 27 y 28.

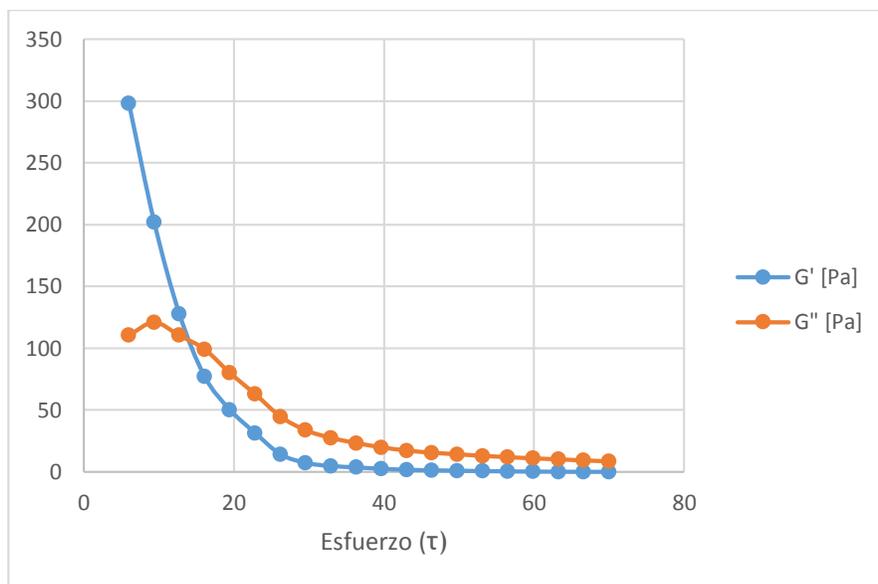


Figura 27: Gráfico de esfuerzo para almidón de chinchayote al 0.5 %.

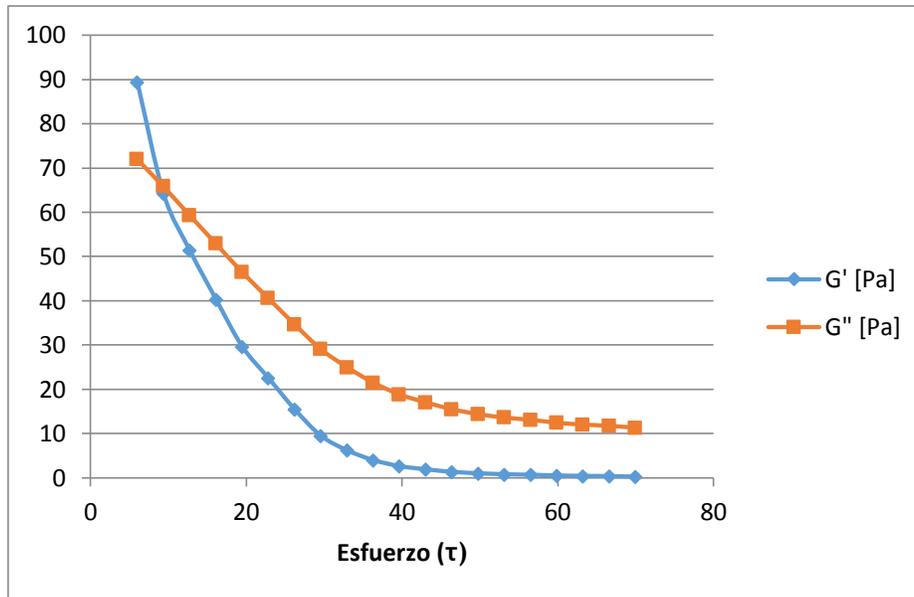


Figura 28: Gráfico de esfuerzo para almidón de papa al 0.5 %.

Posteriormente y una vez que se fijó el valor de esfuerzo en 80Pa para concentraciones de 1 y 2%, se realizó un barrido de Frecuencia utilizando un intervalo de 0.01-40 Hz, para obtener mediante éste, el comportamiento final de los distintos tipos de almidones, el cual se muestra en las figuras 29-34.

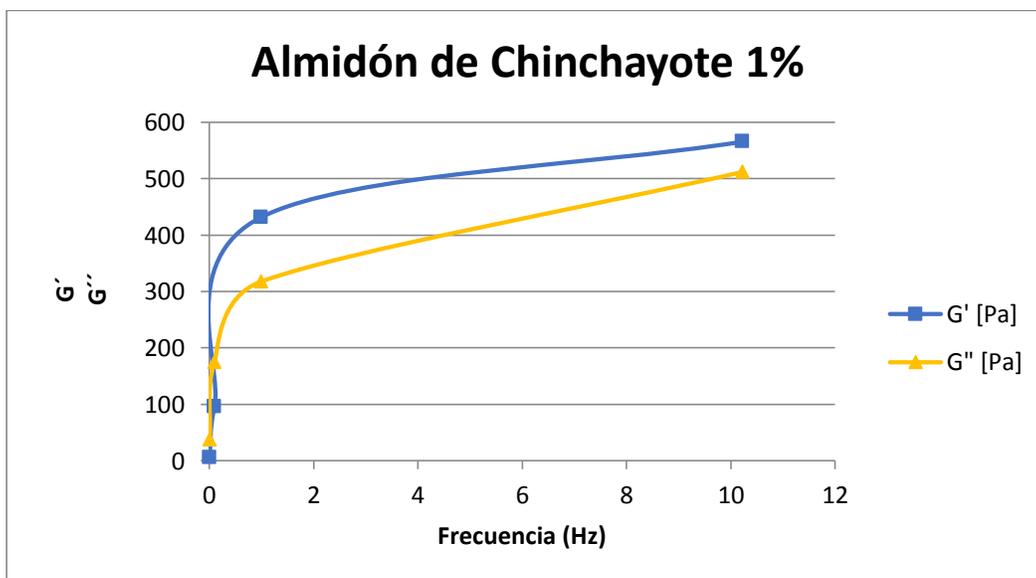


Figura 29: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 1 %.

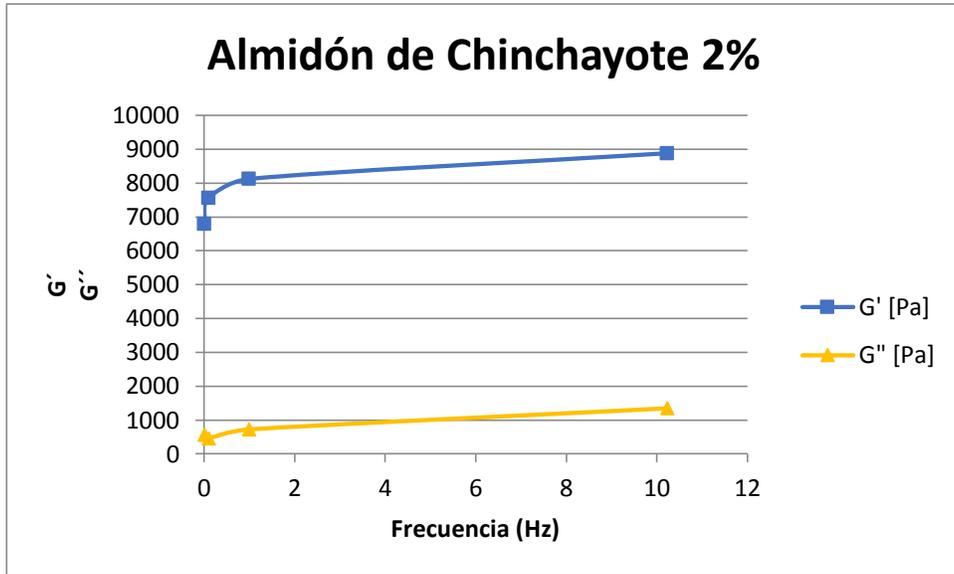


Figura 30: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 2 %.

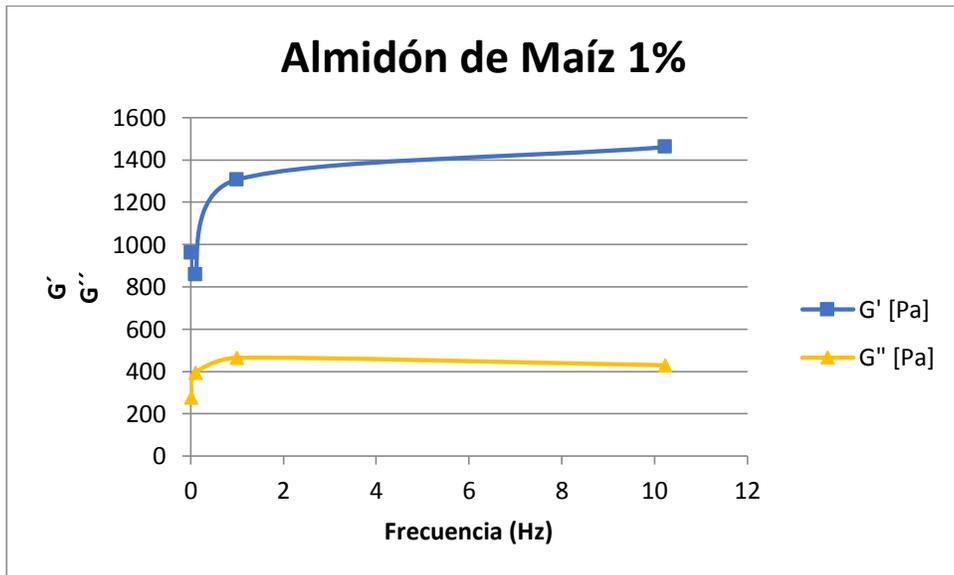


Figura 31: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de maíz al 1 %.

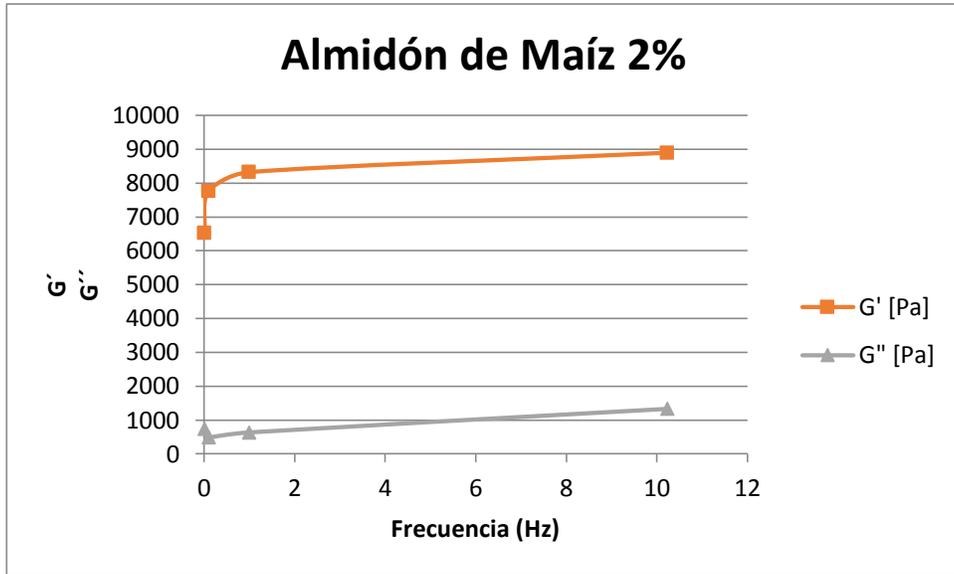


Figura 32: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de maíz al 2 %.

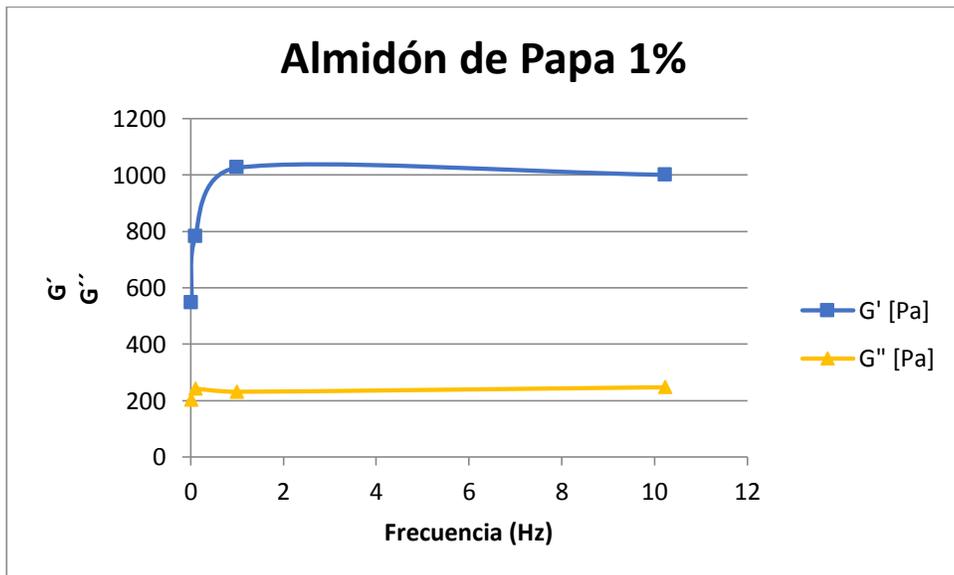


Figura 33: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 1 %.

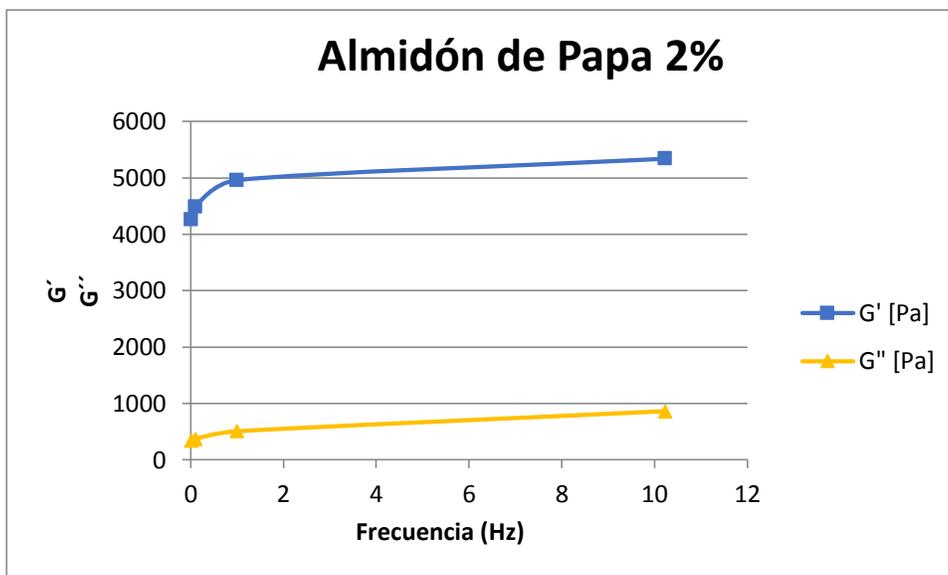


Figura 34: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 2 %.

Se puede observar claramente que para concentraciones de 1 y 2% de todos los almidones en estudio, se presenta la formación de geles fuertes esto se puede aseverar ya que es muy evidente que las curvas pertenecientes a G' están por encima de las que representan a G'' .

Para concentraciones del 0.5% el barrido de frecuencias se realizó en un intervalo de 0.01-20Hz y el comportamiento obtenido se muestra en las figuras 35 y 36. En donde se puede observar que en el caso específico de almidón de chinchayote a esta concentración se tiene un comportamiento de una solución macromolecular debido a que la curva de G'' se encuentra por encima de la perteneciente a G' ; así mismo se determinó el comportamiento para almidón de papa, el cual mostro formación de geles débiles al inicio, ya que se entrecruzan las curvas de G' y G'' , posteriormente tiende a formación de geles fuertes al predominar la curva de G' sobre G'' , Para el caso de almidón de maíz no se obtuvo un resultado debido a que este tipo de almidón a una concentración baja no presenta funcionalidad alguna (viscosidad, etc.), permaneció como una solución la cual no pudo caracterizarse debido a su estado completamente líquido.

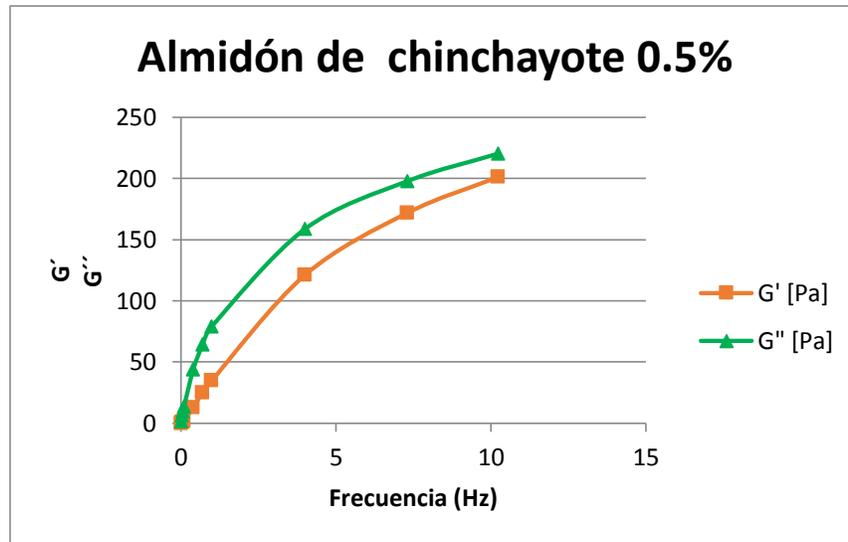


Figura 35: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de chinchayote al 0.5 %.

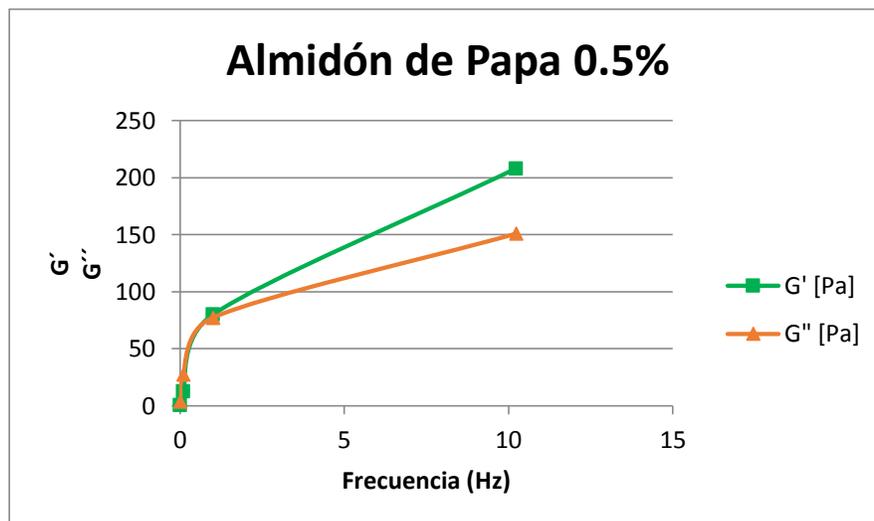


Figura 36: Gráfico de prueba oscilatoria para almidón de papa al 0.5 %.

4.4.5 Prueba de Perfil de Textura (TPA).

Los resultados obtenidos de esta prueba para el análisis que se realizó a las 48 hrs de haber preparado los geles de almidones de chinchayote, papa y maíz se muestran en la figura 37, en donde se observa que los tres tipos de almidón tienen un comportamiento similar, en ambos ciclos de compresión; sin embargo, al tomar en cuenta el principal parámetro de interés, se obtuvo que el gel de almidón de papa tiene mayor dureza (143.8 gr), la cual está representada como el punto máximo en los picos que se forman en el gráfico; seguido por el de chinchayote y de maíz respectivamente; este comportamiento se aprecia claramente en los dos ciclos de compresión, donde también es evidente que el comportamiento de los geles de chinchayote y maíz son más similares entre sí, que si son comparados con el gel de papa.

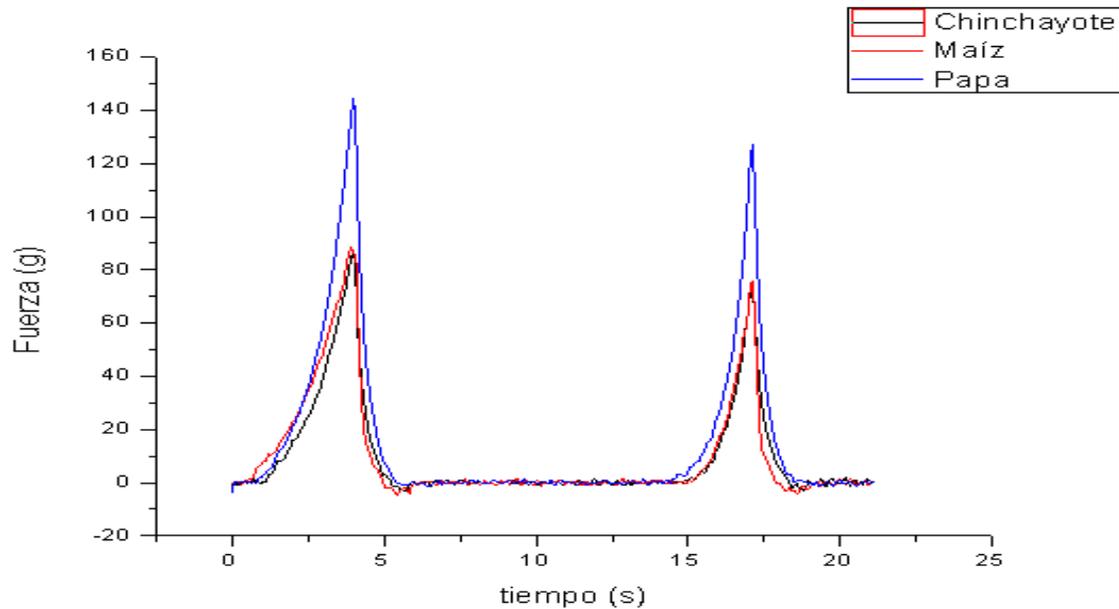


Figura 37: Gráfico de textura para almidones a las 48 hrs.

De igual forma se realizó la misma prueba de TPA a los 8 días de haber preparado los geles de los tres almidones, esto con la finalidad de corroborar que no hubieran sufrido ningún tipo de cambio en su estructura y/o comportamiento al momento del análisis, los resultados se muestran en la figura 38.

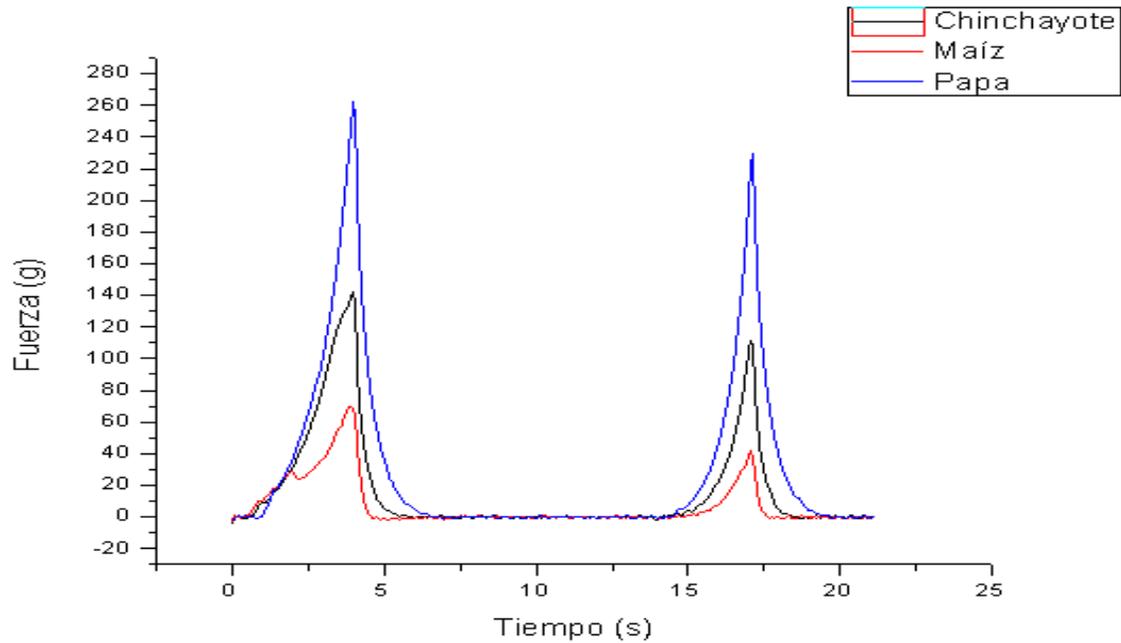


Figura 38: Gráfico de textura para almidones a los 8 días.

Se puede observar en dicha figura que los valores de dureza para geles de almidón de chinchayote y papa se incrementaron notablemente, teniendo un comportamiento similar; sin embargo conservaron la característica de que el mayor valor de dureza es desarrollado por el procedente de papa; así mismo se obtuvo que el gel de almidón de maíz es el que posee menor valor, además de presentar una fractura en la estructura del gel lo cual está representado como el primer pico en el primer ciclo de compresión en el gráfico; dicho comportamiento muestra que al transcurrir ocho días de la preparación el gel de maíz pierde estructura desde antes que se le realizará el análisis, dicha aseveración también se observó físicamente ya que este gel desarrolló el fenómeno de sinéresis, presentando una

porción de agua visiblemente fuera de su estructura, misma que ya poseía una evidente ruptura.

Por otra parte este tipo de análisis arroja otro tipo de datos importantes, los cuales se presentan en la tabla 13, en él se observa que los geles obtenidos con almidón de papa presentan la mayor dureza para ambos tiempos en que fueron medidas las muestras, por ende también tienen los valores mayores de cohesividad ya que sus partículas se encuentran mayormente unidas, lo cual representa una mayor fuerza que debe aplicarse para deformar dichos geles; en cuánto a adhesividad, ninguno de los geles en estudio para ningún tipo de almidón presentan valores elevados, dando todos ellos resultados muy cercanos a cero, por lo tanto ninguno es pegajoso o adhesivo, implicando con ello que “ Se requiere aplicar un mínimo de trabajo para despegar el dispositivo de compresión de la muestra o para despejar el gel de una superficie (paladar)” (Hleap y Velasco, 2010).

Al analizar la elasticidad que presentaban los geles de los tres almidones, se obtuvo que los realizados con almidón de maíz presentaron valores mayores que los de papa y chinchayote respectivamente, resultado que era esperado ya que al ser menos duros y cohesivos, son más elásticos; así mismo representando una mayor pérdida o ruptura de la estructura original que se tuvo al realizar la compresión. Finalmente se puede observar en los geles de almidón de papa presentaron mayores valores de gomosidad y masticabilidad ya que requieren de mayor fuerza y energía para desintegrarlos hasta que estén listos para ser deglutidos.

Tabla 13: Resultados de TPA para almidones a las 48 hrs y después de 8 días.

Tiempo	Dureza (g mm/s²)	Cohesividad	Adhesividad (g mm²/s²)	Elasticidad	Gomosidad (g mm/s²)	Masticabilidad (g)
Papa 48hrs	143.7	0.661	0.01	0.328	95	31.2
Chinchayote 48hrs	105.3	0.573	-0.009	0.444	60.4	26.8
Maíz 48hrs	89.3	0.459	-0.061	0.462	41	18.9
Chinchayote 8días	143.8	0.46	0	0.38	66.2	25.2
Papa 8días	255.7	0.704	-0.007	0.316	180.1	56.9
Maíz 8días	69.6	0.433	-0.004	0.402	30.2	12.1

4.5 Modificación de Almidón de Chinchayote. Acetilación.

4.5.1 Porcentaje de Acetilación y grado de Sustitución.

Tabla 14. Porcentaje y grado de sustitución obtenido en algunos almidones de distintas fuentes.

Alimento	% Acetilación	GS
Chinchayote	1.4	0.053
Cebada	6.0	0.240
Chícharos	-	0.066
Garbanzo	-	0.064
Avena	-	0.05
Ejote	-	0.057

(Prieto, 2010)

En la tabla 14 se muestran los resultados que se han obtenido experimentalmente para % de acetilación y grado de sustitución en almidones provenientes de distintas fuentes, en él se puede observar claramente que el grado de sustitución obtenido para almidón de chinchayote es muy similar al que reportan experimentalmente para otros tipos de almidón tales como avena y ejote, sin embargo el valor es menor comparado con otros almidones como el chícharo, garbanzo y cebada, especialmente en comparación con éste último se tuvo un valor menor tanto en grado de sustitución como en porcentaje de acetilación, muy probablemente debido a la cantidad de anhídrido acético que se utilizó durante el proceso ya que para cebada utilizaron 3.0 ml, mientras que para el de chinchayote se utilizaron únicamente 1.2 ml del mismo.

Aún a pesar de que el almidón de chinchayote acetilado presenta valores pequeños de grado de sustitución (0.053) y porcentaje de acetilación (1.4%), son cantidades aceptables y que se pueden utilizar y consumir como aditivos en alimentos ya que como lo reporta Prieto (2010) en su artículo: “un bajo grado de sustitución en almidones los hace aptos para su utilización en la industria de alimentos debido a que la FAO permite su uso. Además la FDA también permite su uso limitando sus valores por debajo de 2.5% de grupos acetilo.

Por último se puede mencionar que el método utilizado para acetilación es efectivo ya que al realizar el análisis si se obtuvo un porcentaje de sustitución de grupos hidróxilo por grupos acetilo en la cadena de almidón original.

4.5.2 Análisis de Viscosidad RVA para almidón acetilado.

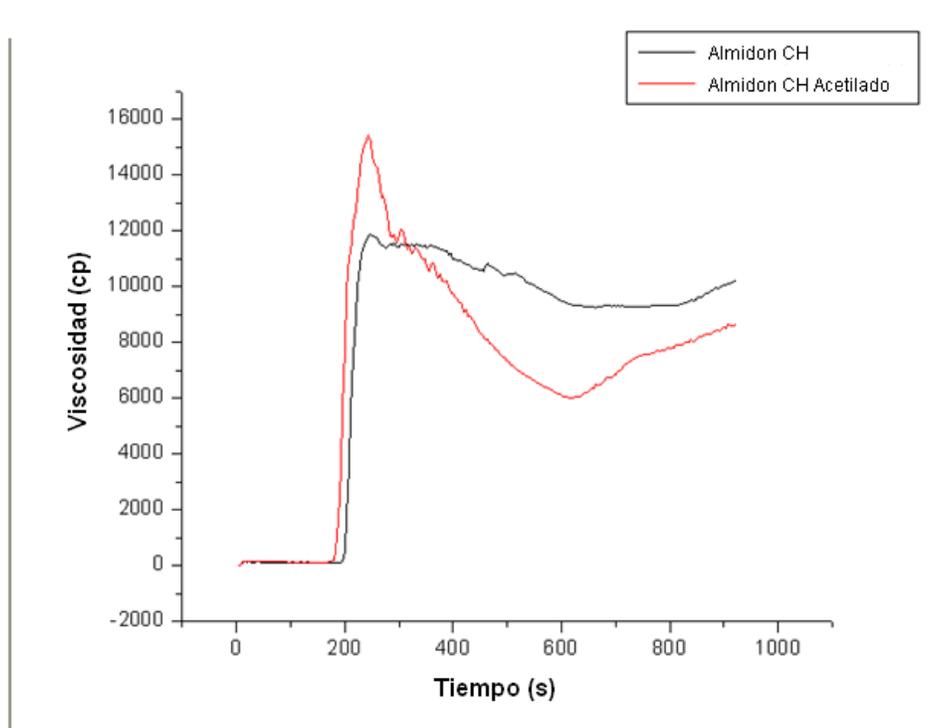


Figura 39. Gráfico comparativo de almidón de chinchayote nativo y acetilado.

En la figura 39 se puede observar el comportamiento reológico del almidón de chinchayote acetilado experimentalmente, el cual comparado con el nativo extraído por método alcalino presentó una mayor viscosidad al ser calentado alcanzando casi 16000cp, siendo que el nativo tenía casi 12000cp, es decir el introducir grupos acetilo a la cadena permite que se incremente la viscosidad alcanzada por los gránulos de almidón; así mismo se puede observar que el almidón acetilado presenta una mayor retrogradación que el nativo, lo que representa una ventaja, ya que hay un mayor reacomodo del mismo.

En la misma figura se muestra que una desventaja que podría presentar el almidón modificado frente al nativo es la rápida pérdida de viscosidad que presenta al durante el análisis, al incrementar la temperatura y principalmente en la etapa de enfriamiento ya que de los casi 16000cp alcanzados decae hasta los 6000cp, problema que no muestra el almidón nativo ya que solo presenta un declive de los 12000cp a los 9000cp aproximadamente, esto podría representar un problema para el almidón acetilado si la aplicación para la que se desea su uso requiere la formación de geles muy fuertes y que conserven su viscosidad aun sometiendo el producto a procesos de calentamiento y/o enfriamiento rápido.

4.5.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

En la 40 se muestra el termograma obtenido para almidones de chinchayote, maíz y papa por DSC, donde se logró identificar que en este tipo de polímeros efectivamente se presenta el fenómeno de transición de primer orden, ya que las transiciones de éste tipo se caracterizan por la presencia de picos, mientras que las de segundo orden producen saltos, en el grafico presentado se pueden observar claramente la formación de picos en el intervalo de temperaturas a las que se realizó dicho análisis; lo cual concuerda con lo mencionado en distintas fuentes: “Algunos ejemplos de transiciones de primer orden pueden ser la desnaturalización de proteínas o la gelatinización del almidón, que suponen cambios conformacionales de los polímeros” (Martínez, et al; 1999).

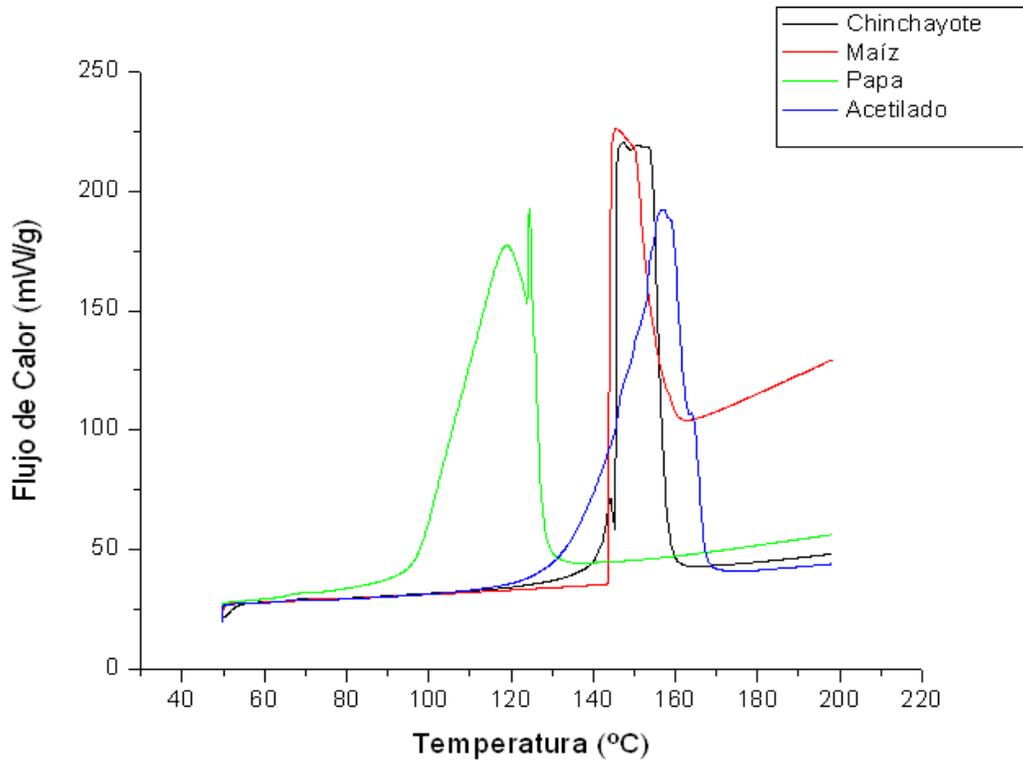


Figura 40: Termograma de DSC para almidones de chinchayote, maíz y papa.

El primer pico no es muy fácil de distinguir gráficamente sin embargo los valores de T_{gel} mostrados en la tabla 15 muestran que si hay una temperatura en la cual aparece dicho pico y que corresponde a la temperatura de gelatinización de dichos almidones, con respecto a ello se puede mencionar que las temperaturas de dicho fenómeno son muy similares entre sí no rebasando un intervalo de temperatura de gelatinización de 64-71 °C aproximadamente tal y como se menciona en algunas bibliografías; así mismo los valores correspondientes a ΔH , los cuales se encuentran en un intervalo de 2-5 J/g aproximadamente, con respecto a esto último es claro que el almidón de chinchayote es el que requiere mayor cantidad de energía para lograr alcanzar la temperatura de gelatinización del mismo aún por encima del almidón acetilado.

Tabla 15. Resultados de DSC para gelatinización de almidones de chinchayote, maíz, papa y acetilado.

Tipo de almidón	T _o (°C)	T _{gel} (°C)	T _e (°C)	ΔH (J/g)
Chinchayote	67.266	69.737	71.991	5.377
Papa	65.085	68.196	71.046	4.839
Maíz	71.021	73.373	75.051	2.167
Acetilado	64.968	67.663	69.681	3.864

To= Temperatura inicial de transición, Tgel= Temperatura de gelatinización, Te= Temperatura final de transición y ΔH= Entalpía de gelatinización.

Por otra parte se puede observar en el gráfico de forma muy clara la aparición de un segundo pico perteneciente a la temperatura de fusión del material en cuestión y que corresponde al momento en el cual se lleva a cabo la transición de un estado semisólido y ordenado a un estado líquido y con mayor movilidad en sus moléculas, éste pico se presenta en distintos intervalos de temperatura para cada uno de los almidones, de igual manera refiriéndose a la magnitud de los intervalos de flujo de calor suministrados; esto se puede corroborar además en los resultados que se muestran en la tabla 16 donde se pueden comparar con mayor claridad los valores de los parámetros obtenidos durante la prueba realizada.

Tabla 16: Resultados de DSC para temperatura de fusión de almidones de chinchayote, maíz, papa y acetilado.

Tipo de almidón	T _o (°C)	T _p (°C)	T _e (°C)	ΔH (J/g)
Chinchayote	145.378	147.578	157.561	5526.630
Papa	122.602	124.394	127.106	7290.593
Maíz	143.657	144.421	156.926	4715.480
Acetilado	148.646	156.869	164.222	7105.029

To= Temperatura inicial de transición, Tp= Temperatura en el pico, Te= Temperatura final de transición y ΔH= Entalpía de gelatinización.

En dicha tabla se observa que la temperatura de fusión para almidón acetilado es mayor contrariamente a lo que sucede con el almidón de papa, el cual presenta el

menor valor , los parámetros obtenidos, incluyendo los valores de entalpía los cuales también son menores para este tipo de almidón; seguido por el de maíz y chinchayote, respectivamente; éstos resultados indican que el almidón acetilado puede almacenarse a una mayor temperatura siempre y cuando sea por debajo de 156°C y no presentará un cambio de fase y por lo tanto la modificación química que se le realizó al almidón nativo es favorable sobretodo porque representa una ventaja a nivel industrial, ya que para algunas de ellas se reflejaría en menores gastos y condiciones de proceso menos extremas. Sin embargo éstos parámetros dependen en su mayoría de la humedad de la muestra, además influyen otros factores como la concentración, el origen del almidón, el método de extracción del almidón, etc, por lo cual es difícil aseverar que el almidón de chinchayote acetilado sea enteramente mejor que el de maíz, papa o el nativo.

4.5.4 FT-IR

En la figura 41 se muestran los resultados obtenidos del análisis de infrarrojo tomando en cuenta % de transmitancia, para almidón de chinchayote nativo y almidón de chinchayote acetilado, donde se puede observar que tomando en cuenta la región dactilar de un espectro de infrarrojo, así como los datos reportados por Guerra (2008) y Prieto (2010), la región a analizar más importante son las señales correspondiente a estiramiento por enlace C-O encontradas en un intervalo de 900-1280 cm^{-1} , señales que efectivamente presentaron los gráficos obtenidos y de lo cual lo más relevante es el pico que puede observarse como señal en la región de 1226-1255 cm^{-1} la cual es específica del estiramiento C-O para grupos acetilo, por lo cual al presentarse en el espectro obtenido se obtuvo que concuerda con los resultados obtenido de GS y por ende con la presencia de acetilos en la cadena de almidón modificada.

Así mismo, se conoce que cuando se produce una reacción de acetilación en la molécula de almidón se observa disminución (acortamiento) en las señales que corresponden a vibraciones por estiramiento (3000-3900 cm^{-1}) y vibraciones por flexión (1650 cm^{-1}) de los grupos OH (Prieto 2010) este comportamiento efectivamente fue observado en los espectros mostrados ya que en ese intervalo la

señales presentaron una disminución en el porcentaje de transmitancia para el almidón acetilado comparado con el nativo, esto se puede explicar claramente por la introducción de grupos acetilo en el almidón, propiciando un cierto efecto estérico a las vibraciones por flexión, corroborando con ello que efectivamente se realizó la acetilación de la muestra analizada. Para comprobar esto último se tiene la presencia de una señal en el almidón acetilado a 1740 cm^{-1} aproximadamente, la cual no se presenta en el espectro obtenido para almidón nativo, debido a que es específica para almidones acetilados. Todo este análisis realizado indica que el anhídrido acético fue efectivo para la modificación del almidón nativo y que utilizando una cantidad pequeña del mismo se puede sustituir cierto grado de grupos OH de la cadena, por grupos acetilo.

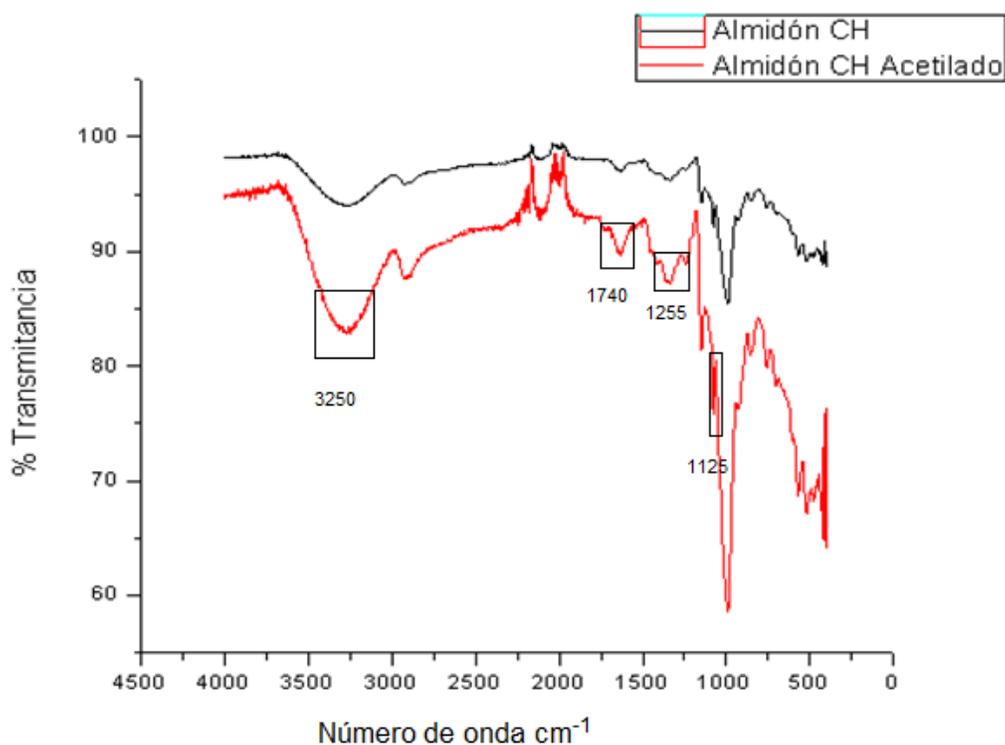


Figura 41. Análisis de FT-IR (absorbancia) para almidón de chinchayote nativo y almidón acetilado.

V. CONCLUSIONES.

- El contenido de fructanos presentes en harina de chinchayote en mínimo, por lo cual no puede considerarse como fuente principal de los mismos; sin embargo la presencia de ellos en éste alimento representa una ventaja en su consumo frente a otros tubérculos.
- La harina de chinchayote representa una buena fuente de fibra dietética, después de los cereales, por lo cual puede representar una alternativa para aquellas personas que no consumen algunos cereales debido a su intolerancia al gluten.
- Se comprobó que el polisacárido mayoritario en chinchayote es almidón, el cual es muy fácil y accesible de extraer por método alcalino.
- El proceso de extracción de almidón por método alcalino es muy efectivo, ya que se obtiene un alto rendimiento al terminar el proceso.
- Se comprobó la presencia de almidón resistente tanto en harina como en el almidón de chinchayote aún cuando el porcentaje presente es pequeño.
- Se observó que la forma predominante de los gránulos de almidón de chinchayote es esférica y tiene un tamaño de granulo similar al de trigo y tapioca.
- El almidón de chinchayote desarrolla características reológicas muy similares al almidón de papa; sin embargo presenta una gran ventaja frente a él al no observarse gran pérdida de viscosidad al finalizar la gelatinización y comenzar la etapa de enfriamiento, prolongando de esta manera la vida de anaquel de los productos que lo contengan.
- Se corroboró que la dureza que presentan los geles formados a partir de almidones de chinchayote y papa es mayor que la que poseen los formados con el proveniente de maíz, motivo por el cual se recomienda para productos que requieran la formación de un gel fuerte.
- Los geles formados a partir de almidón de maíz presentan pérdida en su estructura (por sinéresis), después de una semana de almacenamiento aún

a temperaturas de refrigeración, fenómeno que no presentan los formados con almidones de papa y chinchayote.

- Se logró la acetilación de almidón de chinchayote con anhídrido acético, lo cual se corroboró determinando el grado de sustitución y % de acetilación.
- Se obtuvo un valor de viscosidad mayor para almidón acetilado que para el nativo, demostrando con ello que se incrementa ésta propiedad funcional al introducir grupos acetilo en la cadena de almidón,
- Se observó que el almidón acetilado presenta la desventaja de perder mayor viscosidad que el nativo durante el enfriamiento.
- El almidón de chinchayote es recomendable para productos donde interesa prolongar la vida de anaquel de los productos, mientras que el almidón acetilado tendría un mejor funcionamiento en productos donde lo que importa es la viscosidad a corto plazo.
- Se comprobó mediante FT-IR la presencia de grupos acetilo en la cadena de almidón al observarse las señales típicas de los mismos en el espectro correspondiente.
- Se corroboró que el anhídrido acético es un agente efectivo en procesos de acetilación de almidones.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la materia prima en estudio (chinchayote) se adquiriera en la época adecuada del año (entre mayo y junio) ya que esto podría significar un factor importantedado que dependiendo de ésta puede variar ligeramente el contenido de humedad y el resto de los componentes.
- Durante la etapa de acondicionamiento del chinchayote y específicamente después de realizar el rebanado se reserve en una solución de ácido cítrico para prevenir oscurecimiento enzimático, ya que si este sucede podría alterar el color del almidón extraído.
- Hacer un estudio secundario modificando la cantidad de anhídrido acético agregada, así como los tiempos de reacción, para verificar si se obtiene un grado de sustitución mayor y si mejoran sus característica en perfil de viscosidad.

VII. REFERENCIAS.

- 1) Acosta Osorio, Andrés Antonio. (2013). "Estudio de viscosidad aparente en sistemas simples y multifásicos de baja densidad en función de la temperatura, mediante el uso de un visco-analizador". Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería.
- 2) Aila-Suárez S, Palma-Rodríguez H.M, et al. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 98 102-107.
- 3) Almeida-Alvarado S.L, Aguilar-López T, Hervert-Hermández Deisy. (2014). La Fibra y sus beneficios a la salud. *An Venez Nutr* 27 (1) 73-76.
- 4) Amado Eliseo y Mora L. (2006). Análisis de la variación de la viscosidad cinemática de un aceite vegetal en función de la temperatura. *Bistua* 4 (2) 54-59.
- 5) AOAC. 1988. Official Methods of Analysis of AOAC International.
- 6) Aristizábal Johanna y Sánchez Teresa. (2007). Guía práctica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO Inter-Departmental Working Group. Vol. 163 61-134.
- 7) Badui Dergal, Salvador. (2010). Química de los Alimentos. 3e., Pearson, México.
- 8) Belitz, H.D, et al. (2004). Química de los Alimentos. 3e., Acribia Zaragoza.
- 9) BeMiller James N. (2009). Polysaccharides: Occurrence , Significance and Properties. Department of Food Science. USA.
- 10) BeMiller James y Whistler Roy. (2009). Starch: Chemistry and Technology. 3 e., ELSEVIER. USA.
- 11) Benkeblia Nouredinne. (2013). Fructooligosaccharides and fructans analysis in plants and food crops. *Journal of Chromatography A*. 1313 54-61.
- 12) Bertolini Andrea C. (2010). Starches. Characterization, Properties and Applications. CRC Press. Taylor & Francis Group. New York.

- 13) Blazek Jaroslav y Copeland Les. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers* 71, 380-387.
- 14) Brennan James G. (2006). *Food Processing Handbook*. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.
- 15) Brumovsky, Luis A. (2014). *Química del almidón*. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones.
- 16) Burns A. J, Rowland I.R. (2003). Prebiotics and probiotics in the prevention of colon cáncer. *ELSEVIER Gastroenterología y Hepatología*. 26.
- 17) Camarena De la Mora Alfonso Guillermo. (1978). *El cultivo de la planta *Sechium edule* (Planta Chayotera) y su Aprovechamiento*. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara.
- 18) Carrascal Sánchez Juan José. (2013). *Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico*. Facultad de Ciencias. Universidad de Colombia. Bogotá, Colombia.
- 19) Casaca Ángel Daniel. (2005). *El Cultivo del Patate (*Sechium edule*)*. PROMOSTA.
- 20) Chaisawang Montri y Suphantharika Manop. (2005). Effects of guar gum and xanthan gum additions on physical and rheological properties of cationic tapioca starch. *Carbohydrate Polymers* 61, 286-295.
- 21) Chandrashekar P.M, Harish-Prashanth K.V, Venkatesh Y.P. (2011). Isolation, structural elucidation and immunomodulatory activity of fructans from aged garlic extract. *Phytochemistry* 72 255-264.
- 22) Cheftel J.G, et al. (2000). *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*. Acribia Zaragoza.
- 23) Chiericato-Maniglia Bianca y Tapia-Blácido Delia R. (2016). Isolation and Characterization of starch from babassu mesocarp. *Food Hydrocolloids* 55 47-55.

- 24) Choque-Delgado, G., M.C.S. Tamashiro W., M. Pastore, G. 2010. Immunomodulatory effects of fructans. *Food Research International*.43 1231-1236.
- 25) Clarke S.T, Klumokoff M, et al. (2013). Evaluating influences of fructans on cytokine and immunoglobulin production in a human clinical trial. *Cytokine* 63 243-314.
- 26) Comba N. Z y Beltrán R.A. Comparación de Técnicas Analíticas de determinación de almidón de maíz. *GISIQ*.
- 27) Contreras Pacheco María de Lourdes. (2013). Caracterización Química del Camote de Cerro (*Dioscorea spp.*) presente en el Estado de Jalisco, México. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara.
- 28) Cruz-León A., López-Rueda M.T,J. 2005. Dinámica de la formación de la raíz tuberizada del chayote (*Sechium edule Sw.*) en su primer año de cultivo. *Chapingo serie horticultura*. 11 (1) 13-19.
- 29) De Souza D, Sbardelotto A.F, et al. (2016). Characterization of rice starch and protein obtained by a fast alkaline extraction method. *Food Chemistry* 191 36-44.
- 30) Eliasson Ann Charlotte. (2004). *Starch in Food. Structure, function and application*. CRC. Woodhead Publishing Limited.
- 31) Escudero-Álvarez, E. y González Sánchez, P. 2006. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria. Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfría. Madrid. v.21 supl.2*
- 32) Fabbri Adrianna D.T, Schacht R.W y Crosby G.A. (2016). Evaluation of resistant starch content of cooked black beans, pinto beans and chickpeas. *NFS Journal* 3 8-12.
- 33) Fan Xiaoxu, Zhang Shuncang, et al. (2016). Properties of new starches from tubers of *Arisaema elephas*, *yunnanense* and *erubescens*. *Food Hydrocolloids* 61 183-190.
- 34) Fennema O.R, et al. (2013). *Química de los Alimentos. 3e*, Acribia Zaragoza.

- 35) Fernández-Miranda Consuelo. (2010). La Fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular. *Nutrición clínica y dietética Hospitalaria* 30 (2) 4-12.
- 36) Fernández-Monagas S, Rodríguez-Albadalejo M.A, et al. (1998). Quitina y carboximetilquitosana como agentes desintegrantes. *Revista Cubana de Farmacia*. 32 (2).
- 37) Gao H, Huang S, et al. (2016). Analysis of resistant starch degradation in postharvest ripening of two banana cultivars: Focus on starch structure and amylases
- 38) González-Herrera S.M, Rutiaga-Quiñones O.M, et al. (2016). Dehydrated Apple matrix supplemented with agave fructans, inulin and oligofructose. *LWT-Food Science and Technology* 65 1059-1065.
- 39) González-Rivas M, Zamudio-Flores P.B, Bello-pérez L.A. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y físicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8 (3) 291-297.
- 40) Goteland Martín y Peña Francisca (2011). La Fibra Dietética y sus beneficios para la Salud. *Indualimentos*. 32-33.
- 41) Guarner F, Khan A.G, et al. (2008). Probióticos y Prebióticos. *Guías Prácticas de la OMGE. Organización Mundial de Gastroenterología*.
- 42) Guerra-Dellavalle D, Bello-Pérez L.A, et al. (2008). Efecto del tiempo de reacción en la Acetilación de almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 7 (3) 283-291.
- 43) Halley Peter J. y Avérous Luc R. (2014). *Starch Polymers. From Genetic Engineering to Green Applications. ELSEVIER*.
- 44) Hernández-Medina M, Torruco-Uco J.G, et al. (2008). Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campina*. 28 (3) 718-726.
- 45) Hinch-Dirk K., Livingston III-David p., et al, 2007. Fructans from oat and rye: Composition and effects on membrane stability during drying. *Biochimica et Biophysica Acta* 1768 1611–1619.

- 46) Hleap José Igor y Velasco Viviana Andrea. (). Analysis of the properties of texture during the storage of sausage made from red Tilapia (*Oreochromis sp.*).
- 47) Hoffman, Peter. (2005). "Herbolaria y nutrición natural". Editorial Pax México. México, D.F.
- 48) Jenkins Colín L.D, Lewis D, et al. (2011). Chain length of cereal fructans isolated from wheat stem and barley grain modulates in vitro fermentation. *Journal of Cereal Science*. 53 188-191.
- 49) Jiménez Rivera R., González Cortés N, et al. (2011). Contenido de Almidón resistente en alimentos consumidos en el sureste de México. *UNACAR Tecnociencia*. 5 (2) 27-34.
- 50) Judprasong K, Tanjor S, Puwastien P, Sungpuag P. (2011). Investigation of Thai plants for potential sources of inulin-type fructans. *Journal of food composition and analysis*. Thailand, 24 (2011) 642-649.
- 51) L'homme C, Peschet J.L, et al. (2001). Evaluation of fructans in various fresh and stewed fruits by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *Journal of Chromatography A*. 920 291-297.
- 52) Landires-Gaspar D.G, Márquez-Borbor G.C, et al. (2007). Análisis del contenido amilosa-amilopectina en seis variedades de arroz ecuatoriano. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. ESPOL.
- 53) Liu-Zhiqian, Mouradov-Aidyn, Smith-Kevin F., Spangenberg-German. 2011. An improved method for quantitative analysis of total fructans in plant tissues. *Analytical Biochemistry* (418) 253–259.
- 54) Madrigal L. y Sangronis E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. 57 (4) 387-396.
- 55) Mathews Christopher K, Van Holde K.E, et al. (2013). *Bioquímica*. 4e., Pearson.
- 56) Medina C, Paredes A, et al. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. 22 (1).

- 57) Meseguer-Soler I, Martínez –Para M.C, et al. (1998). La fibra alimentaria. Metabolismo e implicaciones fisiológicas. Medicina Clínica. 110 (1).
- 58) Montañez-Soto J, Venegas-González J, et al. (2011). Extracción, Caracterización y Cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del agave tequilana Weber Azul. Bioagro. 23 (3) 199-206.
- 59) Muñoz de Chávez, Miriam. (2010). Composición de Alimentos. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo. 2e., Mc. Graw Hill. México. pp 80
- 60) Muñoz-Gutiérrez I, Rodríguez-Alegría M.E, López-Munguía A. (2009). Kinetic behaviour and specificity of β -fructosidases in the hydrolysis of plant and microbial fructans. Process Biochemistry. 44 891-898.
- 61) Narváz Flores M, Sánchez-Madrugal M.A, et al. (2015). Ultrasound assisted extraction modeling of fructans from agave (*Agave tequilana Weber var.*) at different temperatures and ultrasound powers. Food and Bioproducts Processing 96 232-239.
- 62) Nelson, David L. y Cox, Michael M. (2009). Lehninger: Principios de Bioquímica. 5e., Omega.
- 63) NMX-F-066-S-1978. Determinación de Cenizas en alimentos. Foodstuff determination of ashes.
- 64) NMX-F-068-S-1980. Determinación de proteínas. Food. Determination of proteins.
- 65) NMX-F-083-1986. Determinación de humedad en productos alimenticios. Foods. moisture in food products determination
- 66) NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. Foodstuff-determination of ether extract (soxhlet).
- 67) Olagnero G., Abad A., Bendersky S., Genevois C., Granzella L., Montonati S. 2007. Alimentos Funcionales: Fibra, prebiótico, probiótico y simbióticos. Dieta, Buenos Aires 25 (121) 19-30.
- 68) Pardo-C O. H, Castañeda J.C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. Agroindustria. 64 (4) 289-295.

- 69) Pardo-Rueda A.J, Quintero-Ramos A, et al. (2014). Efficient extraction of fructans from sotol plant (*Dasyilirion leiophyllum*) enhanced by a combination of enzymatic and sonothermal treatments.
- 70) Pascoal G.B, Filisetti T.M.C.C, et al. (2013). Impact of onion (*Allium cepa L*) fructans fermentation on the cecum of rats and the use of in vitro biomarkers to assess in vivo effects. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fiber I*. 89-97.
- 71) Peshev Darin y Van den Ende Wim. (2014). Fructans: Prebiotics and immunomodulators. *Journal of functional foods* 8 348-357.
- 72) Pompei A, Cordisco L, et al. (2008). In vitro comparison of the prebiotics effects of two inulin-type fructans. *ELSEVIER Anaerobe* 14 280-286.
- 73) Prieto-Méndez J, Trejo-Cárdenas C.L, et al. (2010). Acetilación y Caracterización del almidón de Cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 6 (1) 32-43.
- 74) Quintero-Castaño V. D. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. 14 (28) 16-32.
- 75) Raatz S-K, Idso L, et al. (2016). Resistant starch analysis of commonly consumed potatoes: Content varies by cooking method and service temperature but not by variety. *Food Chemistry*. 208 297-300.
- 76) Ritsema-Tita, Smeekens-Sjef. 2003. Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* , (6) 223–230.
- 77) Rittenauer M, Kolesnik L, et al. (2016). From native malt to pure starch. Development and characterization of a purification procedure for modified starch. *Food Hydrocolloids* 56 50-57.
- 78) Robyt John F. (2008). *Starch: Structure, Properties, Chemistry and Enzymology*. Department of Biochemistry. USA.
- 79) Rodríguez-Galdón B, Tascón-Rodríguez C, et al. (2009). Fructans and major compounds in onion cultivars (*Allium cepa*). *Journal of Food Composition and Analysis*. ELSEVIER. 22 25-33.

- 80) Rodríguez-Lobo A, M.Sc, Mancini-Filho J. (2009). Effects of Dietary lipid composition and inulin-type fructans on mineral bioavailability in growing rats. *Nutrition* 25 216-225.
- 81) Rodríguez-Sandoval E, Fernández-Quintero A, Ayala-Aponte A. (2005). Modelos reológicos aplicadas a masas de trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*. 25(2).
- 82) Rojas Gallardo Joana. 2012. Reología de una emulsión de aceite en agua. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- 83) Salazar N, Dewulf E.M, et al. (2014). Inulin-type fructans modulate intestinal Bifidobacterium species populations and decrease fecal short-chain fatty acids in obese women. *Clinical Nutrition* 30 1-7.
- 84) Salcedo-Mendoza J.G, Rodríguez-Lora M.C y Figueroa-Florez J.A. (2016). Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), y ñame (*Dioscorea alata cv. diamante 22*). Facultad de Ingeniería, Colombia.
- 85) Salinas J, Peñarrieta M, et al. (2011). Identificación de un fructooligosacárido en la especie *Mallanthus sonchifolia*. *Revista Boliviana de Química*. 28 (2).
- 86) Sandoval-Aldana A, Rodríguez-Sandoval E, Fernández-Quintero A. (2004). Aplicación del Análisis por calorimetría diferencial de barrido DSC para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*. 72 (146) 45-53.
- 87) Satin Morton. Functional Properties. FAO Agricultural and Food Engineering Technologies Service.
- 88) Shiga T.M, Gonçalves Peroni-Okita F.H, et al. (2015). Polysaccharide composition of raw and cooked chayote (*Sechium edule Sw.*) fruits and tuberous roots. *Carbohydrate Polymers* 130 155-165.
- 89) Sichina W.J. (2000). Use of DSC for the characterization of Starches. Perkin Elmer. USA.
- 90) Singh N, Isono N, et al. (2008). Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids* 22, 979-988.

- 91) Singh N, Singh J, et al. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81. 219-231.
- 92) Sotelo A, Argote R.M, et al. (2007). Medición de Fibra Dietética y Almidón Resistente: reto para alumnos del laboratorio de desarrollo experimental de alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México. *Educación Química*. 19 (1).
- 93) Soto Azurduy Vania Soraya. (2010). Cuantificación de almidón total y almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa Paradisiaca*). *Revista Boliviana de Química*. 27 (2) 94-99.
- 94) Suriñach S, Baro M.D, et al. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *BOL. SOC. ESP. CERAM.VIDR*. 31 (1) 11-17.
- 95) Tirado-Gallegos J.M, Zamudio-Flores P.B, et al. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- 96) Topping, D. L, Fukushima, N., Bird, A. L. 2006. Almidón resistente como prebiótico y simbiótico. *Mundo Alimentario*. 5-8.
- 97) Tovar Benítez Tomas. (2008). "Caracterización morfológica y térmica de almidón de maíz (*Xea maíz L*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento". Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- 98) Vereyken I.J, Chupin V, et al. (2001). Fructans insert between the headgroups of phospholipids. *Biochimica et Biophysica Acta* 1510 307-320.
- 99) Verspreet J, Dornez E, et al. (2015). Purification of wheat grain fructans from wheat bran. *Journal of Cereal Science* 65 57-59.
- 100) Verspreet J, Dornez E. (2015). Cereal grain fructans: structure, variability and potential health effects. *Trends in Food Science & Technology* 20 1-11.

- 101) Verspreet J, Holmgaard H, et al. (2015). LC-MS Analysis reveals the presence of graminan and neo-type fructans in wheat grains. *Journal of Cereal Science* 61 133-138.
- 102) Zamudio-Flores P.B, Vargas-Torres A, et al. (2009). Caracterización fisicoquímica de Almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*. Vol. 44 (3) 283-295.