



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Propiedades reológicas, texturales, fisicoquímicas y térmicas
de jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis y
jarabes de maíz comerciales**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

KARINA ESTRADA PAZ

ASESORAS:

DRA. VIRGINIA AGUSTINA DELGADO REYES

DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.

2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Propiedades reológicas, texturales, fisicoquímicas y térmicas de jarabes de agave a diferente grado de hidrólisis y jarabes de maíz comerciales.

Que presenta la pasante: **Karina Estrada Paz**

Con número de cuenta: **414028175** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Febrero de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Guadalupe Sosa Herrera	
VOCAL	Dra. Virginia Agustina Delgado Reyes	
SECRETARIO	I.A. Verónica Romero Arreola	
1er. SUPLENTE	I.A. Maritza Rocandio Pineda	
2do. SUPLENTE	Dr. Martín Ramón Porras Godínez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy gracias a Dios, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A la máxima casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dejado ser parte de su comunidad.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que a lo largo de mi formación se convirtió en mi segunda casa, por haberme dado las herramientas necesarias durante mis estudios y por todos los momentos vividos buenos, malos y a los compañeros y profesores que estuvieron conmigo a lo largo de toda mi trayectoria académica dentro de esta institución.

A mi familia, mis padres: Benita Paz y Guillermo Estrada y mi hermana Fernanda Estrada gracias a su esfuerzo, sacrificio, paciencia y a su apoyo incondicional es que he logrado cumplir una meta más.

A mis amigos Michelle, Bárbara y David, que me acompañaron a lo largo de la carrera, por toda su ayuda, apoyo, paciencia y consejos, por darme la motivación de seguir siempre adelante, pero sobre todo por su amistad.

A mi amiga Fer, por todo su apoyo y comprensión, por compartir penas y alegrías, por todas las palabras de aliento, por su lealtad y por ser siempre sincera.

A mis asesoras Dra. Virginia Agustina Delgado Reyes y Dra. Laura Patricia Martínez Padilla, así como a IBQ. Norma B. Casas Alencaster por la orientación y ayuda que se me brindo, por su tiempo y esfuerzo para la realización de esta tesis.

A los miembros del jurado por su tiempo, dedicación y observaciones en la revisión de este trabajo.

Finalmente quisiera agradecer a todas aquellas personas, compañeros y amigos que me brindaron su apoyo para la realización de este proyecto.

ÍNDICE

Página

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Jarabes	1
1.1.1 Componentes de los jarabes	6
1.1.2 Proceso de obtención	12
1.2 Propiedades de los azúcares	15
1.3 Propiedades de los jarabes	18
1.3.1 Propiedades fisicoquímicas	21
1.3.2 Comportamiento al flujo de jarabes	28
1.3.3 Propiedades adhesivas	29
1.3.4 Propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea	30
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	36
2.1 Objetivos	36
2.2 Materiales	36
2.3 Métodos	38
2.3.1 Determinación de propiedades fisicoquímicas	38
2.3.2 Determinación de comportamiento al flujo	40
2.3.3 Determinación de propiedades adhesivas	41
2.3.4 Determinación de propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS	46
3.1 Propiedades fisicoquímicas	46
3.2 Comportamiento al flujo de los jarabes	52
3.3 Propiedades adhesivas	57
3.4 Propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea	73
CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS	80

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Composición de los jarabes maltosados (porcentaje con respecto a los azúcares totales).	3
Cuadro 2	Tipos de jarabes y sus aplicaciones en la industria de alimentos.	5
Cuadro 3	Propiedades fisicoquímicas de glucosa, fructosa, maltosa y maltodextrina.	9
Cuadro 4	Poder edulcorante relativo a la sacarosa de diferentes azúcares y jarabes de maíz (sacarosa = 1).	17
Cuadro 5	Propiedades funcionales de los productos de la hidrólisis del almidón	21
Cuadro 6	Rango de color para clasificar mieles	22
Cuadro 7	Propiedades físicas y fisicoquímicas de jarabes reportadas por diversos autores.	26
Cuadro 8	Propiedades fisicoquímicas de diferentes jarabes de maíz comerciales obtenidos de fichas técnicas.	27
Cuadro 9	Temperatura de transición vítrea y punto de fusión de diferentes carbohidratos.	34
Cuadro 10	Especificaciones de los jarabes (composición en base seca).	37
Cuadro 11	Humedad (%), aw, pH, °Brix e Índice de refracción de los jarabes de agave y de maíz.	45
Cuadro 12	Coordenadas L, a y b de color y densidad.	50
Cuadro 13	Viscosidad de los jarabes de agave y maíz a 25 °C y 35 °C.	55
Cuadro 14	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA100.	60
Cuadro 15	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA88.	61
Cuadro 16	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA50.	61

Cuadro 17	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMIF.	62
Cuadro 18	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMMK.	62
Cuadro 19	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMIG.	63
Cuadro 20	Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de acuerdo a la temperatura de jarabes de agave y maíz.	71
Cuadro 21	Adhesividad, °Brix y humedad de jarabes de agave y maíz	73
Cuadro 22	Temperatura de fusión y de transición vítrea de jarabes de agave y de maíz.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Estructura de la glucosa (a) y de la fructosa (b).	6
Figura 2	Estructura de maltosa (a) y maltodextrina (b).	9
Figura 3	Estructura de sacarosa (a), manitol (b) y sucralosa (c).	10
Figura 4	Estructura de fructanos. Inulinas (a), Neoseries de inulinas (b), Levanos (c), Neoseries de levanos (d), Mezcla de fructanos (e).	11
Figura 5	Termograma temperaturas de fusión de algunos azúcares.	31
Figura 6	Termograma punto inicial, medio y final de transición vítrea.	33
Figura 7	Recipiente con chaqueta de recirculación de agua.	42
Figura 8	Curva de adhesividad.	43
Figura 9	Termograma temperatura de transición vítrea (Tg) y de fusión (Tc).	44
Figura 10	pH y aw en función a °Brix.	48
Figura 11	Humedad en función a °Brix.	49
Figura 12	Índice de refracción en función a °Brix.	49
Figura 13	Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de agave JOA100, JOA88 y JOA50 a 25 °C (a) y 35 °C (b).	52
Figura 14	Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de maíz JMIF, JMMK (a) y JMIG (b) a 25 °C.	53
Figura 15	Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de maíz JMIF, JMMK (a) y JMIG (b) a 35 °C.	54
Figura 16	Viscosidad de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a 35 °C en función a °Brix.	56
Figura 17	Prueba de adhesividad del jarabe JMIG.	57

Figura 18	Prueba de adhesividad del jarabe JOA88.	57
Figura 19	Consistencia de la prueba por penetración y retirada de los jarabes de agave (a) y jarabes de maíz (b) a 25 °C.	58
Figura 20	Fuerza en función del tiempo (prueba por penetración y retirada) para el jarabe JMIG (a) y JOA100 (b) a 10, 15, 25, 30 y 40 °C.	59
Figura 21	Firmeza de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	64
Figura 22	Trabajo de penetración de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	65
Figura 23	Fuerza adhesiva de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	66
Figura 24	Adhesividad de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	67
Figura 25	Estiramiento de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	68
Figura 26	Untabilidad de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.	69
Figura 27	Adhesividad en función a la viscosidad a 25 °C.	72
Figura 28	Termograma que muestra fusión (a) y transición vítrea (b) de solidos de glucosa.	74
Figura 29	Termograma de JOA100.	75
Figura 30	Termograma de JOA88.	75
Figura 31	Termograma de JOA50.	76
Figura 32	Termograma de JMMK.	76

RESUMEN

El jarabe de agave es el producto de la hidrólisis de los fructanos, carbohidratos que se encuentran principalmente en la piña del agave. Considerando que un factor importante que determina las propiedades del jarabe es el grado de hidrólisis, el objetivo de este estudio fue el comparar las propiedades reológicas, texturales, térmicas y fisicoquímicas de tres jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis (totalmente hidrolizado JOA100, con 88% de hidrólisis JOA88 y con 50% de hidrólisis JOA50), con tres jarabes comerciales de maíz: (Frudex 960 JMIF, Glucosa 43 Globe JMIG y Miel Karo JMMK) mediante técnicas estandarizadas para la obtención de parámetros que describan su comportamiento. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas (humedad, pH, actividad de agua, °Brix, °Baumé y color), reológicas (viscosidad a 25 y 35 °C), texturales (adhesividad a 10, 15, 25, 30 y 40 °C) y térmicas (temperaturas de fusión y transición vítrea). Los resultados de pH fueron similares para ambos tipos de jarabes (jarabes de agave 5.74 - 6.35; jarabes de maíz 5.78 - 6.45), mientras que se encontraron diferentes valores para actividad de agua (jarabes de agave 0.66 - 0.82; jarabes de maíz 0.69 - 0.82), los jarabes de maíz presentaron mayor contenido de sólidos solubles (83%) y menor contenido de humedad (12.15%) en comparación con los jarabes de agave, además éstos mostraron tener colores más oscuros y amarillos mientras que los de maíz fueron los jarabes con los colores más claros; en cuanto a las propiedades reológicas para todas las muestras de jarabes presentaron un comportamiento newtoniano y los jarabes de maíz tuvieron los valores más altos de viscosidad en ambas temperaturas. Los resultados de textura evidenciaron que a mayor temperatura, menor adhesividad y menor valor de los parámetros en general; los resultados mostraron una tendencia a la linealidad en fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento. En cuanto a las propiedades térmicas se encontraron valores de fusión de entre 143 y 169 °C para los jarabes de agave y 94.6 °C para JMMK. Con estos resultados es posible concluir, que las propiedades de los jarabes dependen en gran medida del grado de hidrólisis, ya que a partir de éste la composición del jarabe varía, proporcionando características únicas a cada jarabe.

INTRODUCCIÓN

Los jarabes comúnmente utilizados en la industria de alimentos son los de maíz, particularmente los de alta fructosa, ya que ofrecen la misma dulzura que la sacarosa en forma de jarabe, además de que son más estables en bebidas de bajo pH (White, 2014). Los jarabes de maíz son ingredientes con una gran gama de aplicaciones en la industria de alimentos, debido a sus características tanto fisicoquímicas como funcionales, se utilizan en diversos productos desde bebidas, confitería, panadería, helados, productos cárnicos y vinos. Los jarabes de maíz son el producto de la hidrólisis del almidón de maíz dando como resultado jarabes con un alto contenido en glucosa, fructosa y maltosa principalmente, aun cuando pueden contener oligosacáridos (IAlimentos, 2015).

Las características de estos jarabes dependen entre otros factores del tipo de hidrólisis, enzimas empleadas y el grado de concentración por evaporación, de esta manera se puede obtener una gran variedad de productos que se diferencian por su contenido de sólidos totales, equivalente de dextrosa, tipo de azúcares u oligosacárido, características que determinan sus propiedades fisicoquímicas y aplicaciones como modificadores de la textura y calidad de los productos (IAlimentos, 2015).

Actualmente en el mercado se buscan productos naturales y con beneficios a la salud con lo que han surgido otros jarabes como los de agave. Los agaves a lo largo de su desarrollo acumulan una gran cantidad de carbohidratos en particular para poder llevar a cabo su floración. Estos carbohidratos son fructanos (Gschaedler, 2012; Ulloa et al., 2010). Actualmente, los fructanos de mayor importancia comercial a nivel mundial son la inulina y la oligofruktosa (Godínez-Hernández et al., 2015). Los fructanos del *Agave tequilana* Weber var. azul consisten en una compleja mezcla, principalmente un alto contenido de fructanos ramificados y neofruktanos (Waleckx et al., 2008).

Las especies de agave económicamente más importantes, *Agave tequilana* Weber var. azul y *Agave salmiana*, son las utilizadas para la obtención de jarabe, aunque sólo el 10% de su cosecha es destinada para este fin (García-González y López, 2013).

Dentro del proceso de obtención del jarabe, la hidrólisis es una etapa muy importante, ya que durante ésta las enzimas inulinasa y β -fructosidasa convierten a los fructanos en monosacáridos libres como lo son la glucosa y la fructosa (Willems y Low, 2012). Así, al tener diferente grado de hidrólisis varía su composición y por lo tanto sus características fisicoquímicas, reológicas, térmicas y texturales. Los jarabes de agave se han popularizado por su capacidad prebiótica e índice glucémico bajo respecto a otros jarabes y mieles naturales (Mellado-Mojica y López-Pérez, 2013). Su alto contenido de fructosa lo hace más dulce que los jarabes que contienen niveles apreciables de glucosa (por ejemplo, miel) o sacarosa, por lo que es posible utilizar menos jarabe de agave para lograr el mismo nivel de dulzor, disminuyendo así la ingesta de calorías (Willems y Low, 2012).

El jarabe de agave es un producto relativamente nuevo del cual aún no se han estudiado sus propiedades funcionales, por lo que el principal objetivo de este estudio es analizar las propiedades reológicas, texturales, fisicoquímicas y térmicas de tres jarabes de agave a diferente grado de hidrólisis (100, 88 y 50% de hidrólisis) y compararlas con tres marcas comerciales de jarabes de maíz (Frudex 960, Globe 43 y Miel Karo) para generar información que permita definir posibles aplicaciones en las que se sustituya total o parcialmente a los jarabes de maíz como ingredientes en diferentes productos, de tal forma que se presenten las características correspondientes en los productos en los que puedan ser aplicados, satisfaciendo los gustos y necesidades de los consumidores.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Jarabes

De acuerdo con la NMX-F-169-1984 se define como jarabe al producto obtenido por disolución en agua potable de edulcorantes, adicionados o no de frutas y/o sabores, colorantes artificiales, acidulantes e ingredientes opcionales permitidos, procesado de manera que asegure la conservación del producto terminado. En términos generales un jarabe es una solución acuosa que contiene una concentración alta de carbohidratos, principalmente glucosa y/o fructosa, y que son característicos por tener una consistencia altamente viscosa, el cual se puede obtener de diferentes fuentes.

Los jarabes de maíz son de los ingredientes con mayor aplicación en la industria de alimentos. Éstos se pueden obtener mediante la hidrólisis del almidón, ya sea por hidrólisis ácida, enzimática y/o térmica. Estos productos se encuentran en estado líquido o sólido (si se someten a secado) y sus características fisicoquímicas y funcionales se determinan por la concentración de sólidos, pH, viscosidad, composición de azúcares y su grado de hidrólisis (IA Alimentos, 2015).

Jarabe de glucosa

Los jarabes de glucosa son una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos obtenidos del almidón, cuyo contenido de sólidos es mayor que 70% y el contenido de azúcares reductores es mayor que 20%. A los jarabes de glucosa también puede removérsele parcialmente el agua y obtener lo que la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés), denomina “jarabe de glucosa seca” o “sólidos de jarabe de glucosa”. También se trata de uno de los productos más utilizados por la industria confitera y de alimentos procesados, ya que proporcionan dulzura, equilibrio adecuado de azúcares en las formulaciones, control de cristalización, brillo, maquinabilidad, textura, viscosidad, depresión del punto de congelamiento, aumento de la presión osmótica, pardeamiento (reacción de Maillard) y humectación (IA Alimentos, 2015).

Se usan en procesos de fermentación como en la producción de ácido cítrico; también ayudan a incrementar la cantidad de azúcares fermentables en la producción de vinos, cerveza y en la fabricación de sorbitol por medio de un proceso de hidrogenación. Cuando los jarabes de dextrosa de alto contenido de D-glucosa, se someten a un proceso de cristalización, se obtienen dos tipos de dextrosa comercialmente conocidos como: dextrosa monohidratada y dextrosa anhidra (IA Alimentos, 2015).

Jarabe de maíz de alta fructosa

El jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF) está definido por la FDA como una mezcla de sacáridos nutritivos (IA Alimentos, 2015). El nombre jarabe de maíz de alta fructosa se le dio para reconocer su contenido de fructosa y para diferenciarlo del jarabe de maíz regular, que contiene sólo polímeros de glucosa. El JMAF es casi idéntico en relación con fructosa y glucosa a la sacarosa y la miel, lo que explica su metabolismo y dulzura comparables (White y Foreyt, 2010). El JMAF ofrece la misma dulzura que la sacarosa en forma de jarabe, además de que es más estable en bebidas de bajo pH, ya que está disuelto previamente, facilitándose el mezclado con otros ingredientes y tiene menos problemas de sanidad (White, 2014).

El JMAF se usa en productos procesados, de panadería y cereales, que aprovechan su solubilidad y resistencia a la cristalización, conservación de alimentos (retención de humedad y control microbiano), mejora el desarrollo de color y sabor, suavidad de texturas y viscosidad (alto contenido de sólidos). Se utiliza en aplicaciones lácteas por sus azúcares fermentables (yogur), para endulzar leche, así como para equilibrar el punto de congelación en helados, dulces congelados y jugos. Muy poco JMAF se utiliza en la industria de la confitería debido a su resistencia a la cristalización, un requisito principal en muchos productos de este ramo. Sin embargo, su tendencia a desarrollar color es útil en la fabricación de dulce de azúcar y caramelo (White, 2014).

Jarabe de maltosa

La maltosa tiene un poder edulcorante equivalente a 50-75% del poder edulcorante de la sacarosa, además la maltosa tiene una calidad de dulzor de alta aceptabilidad. Estos jarabes son principalmente usados en cervecería, panadería, bebidas no alcohólicas, confitería, y su importancia radica probablemente más que en su poder como edulcorante, en sus propiedades funcionales como: alta higroscopicidad, baja viscosidad en solución, resistencia a la cristalización, bajo poder edulcorante, menor tendencia al oscurecimiento, alta estabilidad térmica y menor presión osmótica que la glucosa (García-Garibay et al., 2004).

Existen tres tipos de jarabes maltosados con diferente composición y equivalente de dextrosa DE (Cuadro 1): jarabes con alto contenido de maltosa, jarabes con extremadamente alto contenido de maltosa y jarabes maltosados de alta conversión, estos últimos contienen 85% de azúcares fermentables y son comúnmente empleados como adjuntos de cervecería o aditivos de harinas para incrementar su capacidad fermentativa (García-Garibay et al., 2004).

Cuadro 1. Composición de los jarabes maltosados (porcentaje con respecto a los azúcares totales) (García-Garibay et al., 2004).

Azúcar	Jarabe con alto contenido de maltosa	Jarabe con extremadamente alto contenido de maltosa	Jarabe maltosado de alta conversión
Glucosa (%)	0.5 – 3	1.5 – 2	35 – 43
Maltosa (%)	45 – 60	70 – 85	30 – 47
Malto triosa (%)	10 – 25	8 – 21	8 – 15
Equivalente de Dextrosa (DE)	35 – 40	45 – 60	60 – 70

Jarabe de azúcar invertido

El azúcar invertido es un producto de alta concentración y viscosidad que procede de la transformación de la sacarosa (hidrólisis) mediante procesos que implican exposición térmica y cambios bruscos en el pH usando ácidos y bases autorizados.

También existe la inversión del azúcar mediante la utilización de una enzima llamada invertasa. El adjetivo “invertido” se refiere al cambio del poder rotatorio de la solución sobre la luz polarizada (Badui, 2006). Un compuesto es considerado ópticamente activo si la luz linealmente polarizada sufre una rotación cuando pasa a través de una muestra de dicho compuesto. Cada sustancia ópticamente activa tiene su propia rotación específica (García-Martínez, 2007).

Jarabe de agave

De acuerdo con la norma NOM-003-SAGARPA-2016, el jarabe de agave es la sustancia dulce natural producida por hidrólisis de los fructanos provenientes de la planta del agave.

Se estima que el jarabe de agave tiene el doble de poder edulcorante que el azúcar común gracias a su composición, principalmente fructosa y dextrosa o glucosa. Esta es la razón que hace que sea tan estimado como endulzante y que se considere un excelente potenciador del sabor y del aroma, al utilizarlo solo o en combinación con otros productos alimenticios de consumo humano.

Este endulzante se ha caracterizado, respecto a otros jarabes y mieles naturales, por su índice glucémico bajo.

La norma presenta la siguiente clasificación:

- Jarabe de agave
- Jarabe de agave parcialmente hidrolizado
- Productos que contienen jarabe de agave

La norma permite adicionar únicamente los aditivos y coadyuvantes permitidos en el Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias.

El Cuadro 2 muestra algunas aplicaciones para cada tipo de jarabe, ya que cada uno imparte características específicas para cada producto, de tal modo que mientras algunos jarabes de maíz se limitan a usos en panificación y bebidas, otros como los de alta fructosa pueden ser utilizados en helados, jugos y mermeladas.

Cuadro 2. Tipos de jarabes y sus aplicaciones en la industria de alimentos (Almex, 2006, 2007 y Cargill, 2012).

Tipo de Jarabe		Aplicaciones
Jarabe de maíz	Jarabe de maíz 25/42*	Lácteos, carne, control de cristalización en helados.
	Jarabe de maíz 43/43*	Mermeladas, jaleas, bebidas, salsas y condimentos, y proporciona protección contra la cristalización en productos tales como helados y confites.
	Jarabe de maíz 63/43*	Panificación y bebidas.
	Jarabe de maíz 63/44*	Panificación y bebidas
Jarabe de alta maltosa	Jarabe de maíz de alta maltosa 43%	Produce productos terminados que tienen una estabilidad, claridad y brillo excepcionales.
	Jarabe de maíz de alta maltosa 50%	Mejora el sabor, el cuerpo y la textura a altos niveles de reemplazo de sacarosa, al mismo tiempo que imparte resistencia a la formación de color, la absorción de humedad y la cristalización en productos terminados, como caramelos duros.
	Jarabe de maíz de alta maltosa 65%	Puede usarse para reemplazar parcialmente la sacarosa en aplicaciones donde las propiedades de los disacáridos son necesarias.
Jarabe de maíz de alta fructosa	Jarabe de maíz de alta fructosa 42%	Jugos y néctares, gelatinas, cajeta, lácteos, panificación, vinos, helados, mermeladas y cajeta.
	Jarabe de maíz de alta fructosa 55%	Helados, jaleas, mermeladas, bebidas carbonatadas, futas en conserva.
Jarabe de maíz refinado dextrosa líquida	Jarabe de maíz refinado dextrosa líquida 95%	Para aplicaciones que requieren alta fermentabilidad y dulzura, pero donde la cristalización de dextrosa no es una preocupación, como en la cocción, fermentación, fermentación, encurtidos y vinos.
	Jarabe de maíz refinado dextrosa líquida 99%	Para las industrias de alimentos, farmacéuticos y cerveceros.
Jarabe de agave	Jarabe de agave	Panificación, bebidas, lácteos y postres.

*El primer número corresponde al equivalente de dextrosa (DE) y el segundo a la densidad en °Baume.

1.1.1 Principales componentes en los jarabes

De acuerdo con el grado de hidrólisis de los jarabes, varía su composición y por lo tanto sus propiedades y aplicaciones. La presencia o ausencia y abundancia de los componentes de los jarabes como glucosa y fructosa, puede ser una herramienta en el análisis de autenticidad, calidad y usarse para identificar algunos adulterantes (Mellado-Mojica y López-Pérez, 2013).

La glucosa y la fructosa son los dos azúcares simples más importantes para el consumo humano. Tienen la misma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$), pero diferentes estructuras (Figura 1a, b).

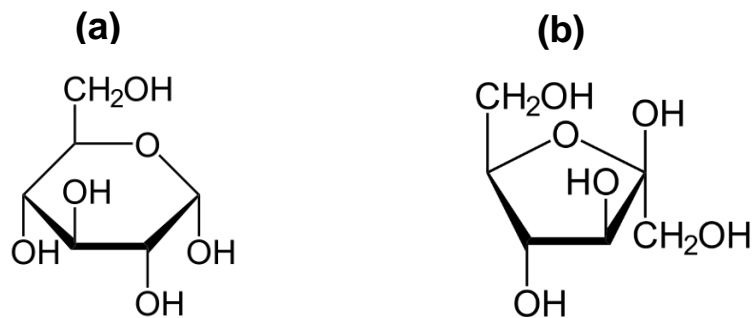


Figura 1. Estructura de la glucosa (a) y la fructosa (b).

Los azúcares reductores son aquellos capaces de funcionar como agentes reductores químicos. Los azúcares reductores y los grupos amino de las proteínas participan en las reacciones de ennegrecimiento no enzimático de Maillard para producir sabores, aromas y pardeamiento atractivos en alimentos horneados, cocinados y calentados. La glucosa y fructosa son azúcares reductores, no sólo como ingredientes individuales sino como componentes del jarabe de maíz de alta fructosa. Sin embargo, los extremos reductores de glucosa y fructosa están unidos entre sí en sacarosa, lo que la convierte en un azúcar no reductor. Por esta razón, el jarabe de maíz de alta fructosa ofrece un desarrollo superior de pardeamiento, sabor y aroma en alimentos, bebidas calientes, dulces como caramelos y dulce de azúcar (White, 2014).

Glucosa

La D-Glucosa es el carbohidrato y compuesto orgánico más abundante (si se consideran todas sus formas combinadas), pertenece a la clase de carbohidratos llamados monosacáridos. Los monosacáridos son moléculas de hidratos de carbono que no se pueden descomponer en moléculas simples de hidratos de carbono por hidrólisis, por lo que se denominan azúcares simples. Se pueden unir para formar estructuras más grandes, como oligosacáridos y polisacáridos, que se pueden convertir en monosacáridos por hidrólisis (Shendurse y Khedkar, 2016).

Se encuentra en frutas y miel y es el principal carbohidrato libre que circula en la sangre de los animales superiores. D-glucosa es un polialcohol y un aldehído, se clasifica como una aldosa, una designación para carbohidratos que contienen un grupo aldehído (Shendurse y Khedkar, 2016).

Las formas de dímero, trímero y tetrámero en las que las moléculas de glucosa se unen mediante enlaces (1-4) se denominan maltosa, maltotriosa y maltotetraosa, respectivamente, ya que estas sustancias son los productos de la digestión de almidón en el proceso de malteado. Una de las propiedades físicas importantes de la glucosa es su capacidad para disolverse en una solución acuosa, es decir, a base de agua (Shendurse y Khedkar, 2016).

Fructosa

Las fuentes naturales de la fructosa de la dieta son las frutas, los jugos de frutas, algunas verduras, la miel y los jarabes. En estos alimentos, la fructosa se encuentra como el monosacárido y también como un componente del disacárido, sacarosa (Shendurse y Khedkar, 2016). Al igual que la mayoría de los monosacáridos, la fructosa es un azúcar reductor y, dado que es altamente levorrotatorio, se le designa con el nombre de levulosa. Forma parte de algunos polisacáridos, principalmente de la inulina: polisacárido lineal que contiene una glucosa terminal, y cuya unión molecular se da mediante enlaces β (2-1) glicosídicos no digeribles, que se encuentra en plantas como el maguey, el ajo y la alcachofa, entre otras (Badui, 2006).

Maltosa

La maltosa integrada por dos moléculas de glucosa (Figura 2a), es un azúcar reductor hidrolizado a partir del almidón por ácidos y por la enzima maltasa; presenta el fenómeno de la mutarrotación, pues existe en los isómeros α o β ; se encuentra comúnmente en la cebada, en los hidrolizados de maíz y de almidones. De todos los maltosacáridos, la maltosa es el menos higroscópico; no es tan dulce como la glucosa, pero tiene una dulzura aceptable; es fermentable, soluble en agua, y no cristaliza fácilmente (Badui, 2006).

Maltodextrinas

De acuerdo con la FDA las maltodextrinas son polímeros sacáridos nutrientes no dulces que consisten en unidades de D-glucosa unidas principalmente por enlaces α 1 - 4 y que tienen un equivalente de dextrosa (DE) de menos de 20. Las maltodextrinas son polímeros de la glucosa creados de la hidrólisis parcial del almidón. En específico, la maltodextrina líquida (LMD), es una maltodextrina funcional de 18 DE no retrogradable, la cual contiene una baja concentración de monosacáridos y disacáridos. Es un polisacárido muy utilizado, cuya principal función consiste en incrementar el volumen de los productos y ser agente emulsificante (Rábago, 2014).

Las maltodextrinas se dispersan fácil y rápidamente en agua, característica a tener en cuenta en mezclas deshidratadas. La estructura molecular (Figura 2b) compacta de este ingrediente indigerible hace que la capacidad de absorber agua del ambiente sea muy baja, por lo que permite brindar mayor protección. Su estabilidad se vuelve a demostrar cuando se trata de productos congelados o cuando las condiciones de distribución no son las más adecuadas, porque el carbohidrato resistente soporta repetidos ciclos de congelado/descongelado sin perder su particular desempeño funcional (Rábago, 2014).

Todos estos carbohidratos se encuentran en diferente proporción en los jarabes, lo que le proporciona características distintas a cada uno.

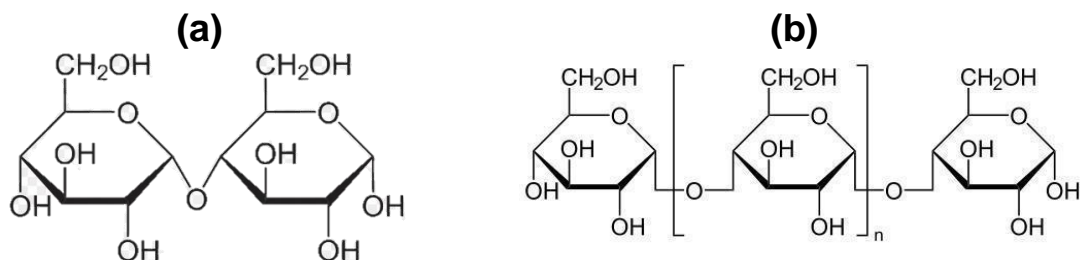


Figura 2. Estructura de maltosa (a) y maltodextrina (b).

En el Cuadro 3 se muestran algunas propiedades fisicoquímicas como densidad, punto de fusión, solubilidad, pH y actividad de agua (a_w) para glucosa, fructosa, maltosa y maltodextrinas.

Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de glucosa, fructosa, maltosa y maltodextrina (White, 2014; Shendurse y Khedkar, 2016).

	Glucosa	Fructosa	Maltosa	Maltodextrina
Densidad (kg/m ³)	1562 a 18 °C	1587	1540	1581
Punto fusión (°C)	150	103	-	240
Solubilidad (en agua)	1.33 kg/L	3.75 kg/L a 20 °C	1.08 kg/L	-
pH	5.9	-	-	4.5 - 6.5
a_w (a 25 °C)	0.891	0.634	-	-

En menor cantidad es posible encontrar otros componentes como lo son sacarosa, manitol y sucralosa.

Sacarosa

La sacarosa llamada comúnmente “azúcar”, está integrada por una glucosa (Figura 3a) cuyo carbono aldehídico se une al cetónico de la fructosa, estableciendo un enlace glucosídico β (1,2) que impide que este disacárido sea reductor por carecer de grupos aldehído o cetona libres. Su fórmula molecular es C₁₂H₂₂O₁₁. La sacarosa es el químico orgánico más abundante en el mundo. Su hidrólisis parcial se aprovecha comercialmente en la elaboración de azúcar invertido usado en bebidas,

ya que se reduce el porcentaje de azúcar necesario para proporcionar un dulzor determinado (Badui, 2006).

Manitol

El manitol puede ser obtenido por hidrogenación de la manosa. Pertenece al grupo de edulcorantes denominado polioles o polialcoholes, su fórmula molecular es $C_6H_{14}O_6$ (Figura 3b). El manitol, a diferencia del sorbitol, no es humectante; más bien al contrario, cristaliza con facilidad y es sólo moderadamente soluble. Se ha utilizado como recubrimiento anti adhesivo en confitería. Su poder edulcorante es el 65% del de la sacarosa, y se utiliza en la industria en la elaboración de bombones sin azúcar, caramelos de menta y caramelos tanto blandos como duros (Fennema, 2000).

Sucralosa

La sucralosa es un organoclorado de fórmula molecular $C_{12}H_{19}Cl_3O_8$, la cual se extrae del azúcar mediante un proceso de halogenación selectiva de la sacarosa, en el cual se extraen selectivamente tres grupos hidroxilos de la sacarosa y se reemplazan por tres átomos de cloro (Figura 3c). Estos átomos de cloro le confieren una estructura molecular de gran estabilidad, además de que produce la eliminación de calorías ya que la vuelve inerte química y biológicamente. La sucralosa tiene un poder edulcorante 600 veces más dulce que el azúcar. A diferencia de otros edulcorantes, es termoestable y resistente a un amplio espectro de pH, por lo que puede utilizarse para cocinar a altas temperaturas y agregarse a productos de larga caducidad (Samforlab, 2019).

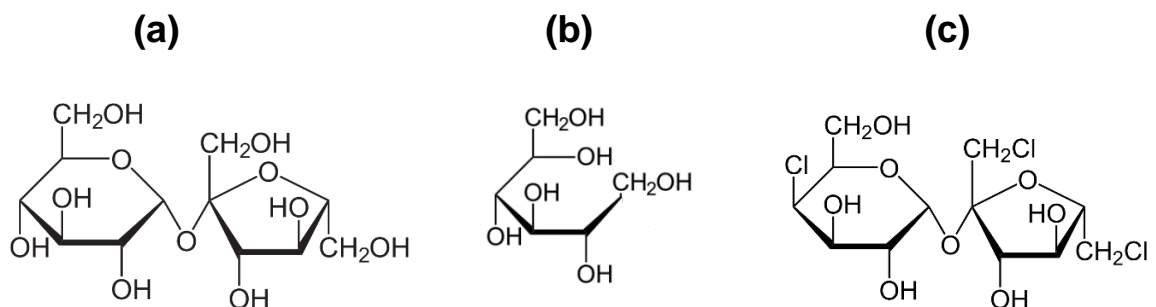


Figura 3. Estructura de sacarosa (a), manitol (b) y sucralosa (c).

Fructanos

Los fructanos son polímeros de fructosa que contienen una molécula de glucosa, ya que la síntesis del fructano inicia a partir de una molécula de sacarosa (Gschaedler, 2012). Los fructanos con un grado de polimerización de 2 a 10 son comúnmente llamados fructooligosacáridos (Ulloa et al., 2010). Se han encontrado en la naturaleza cinco diferentes tipos de fructanos: inulina, levana, mezclas de fructanos ramificados, neoserias de inulina y neoserias de levana, (Figura 4) (Waleckx et al., 2008).

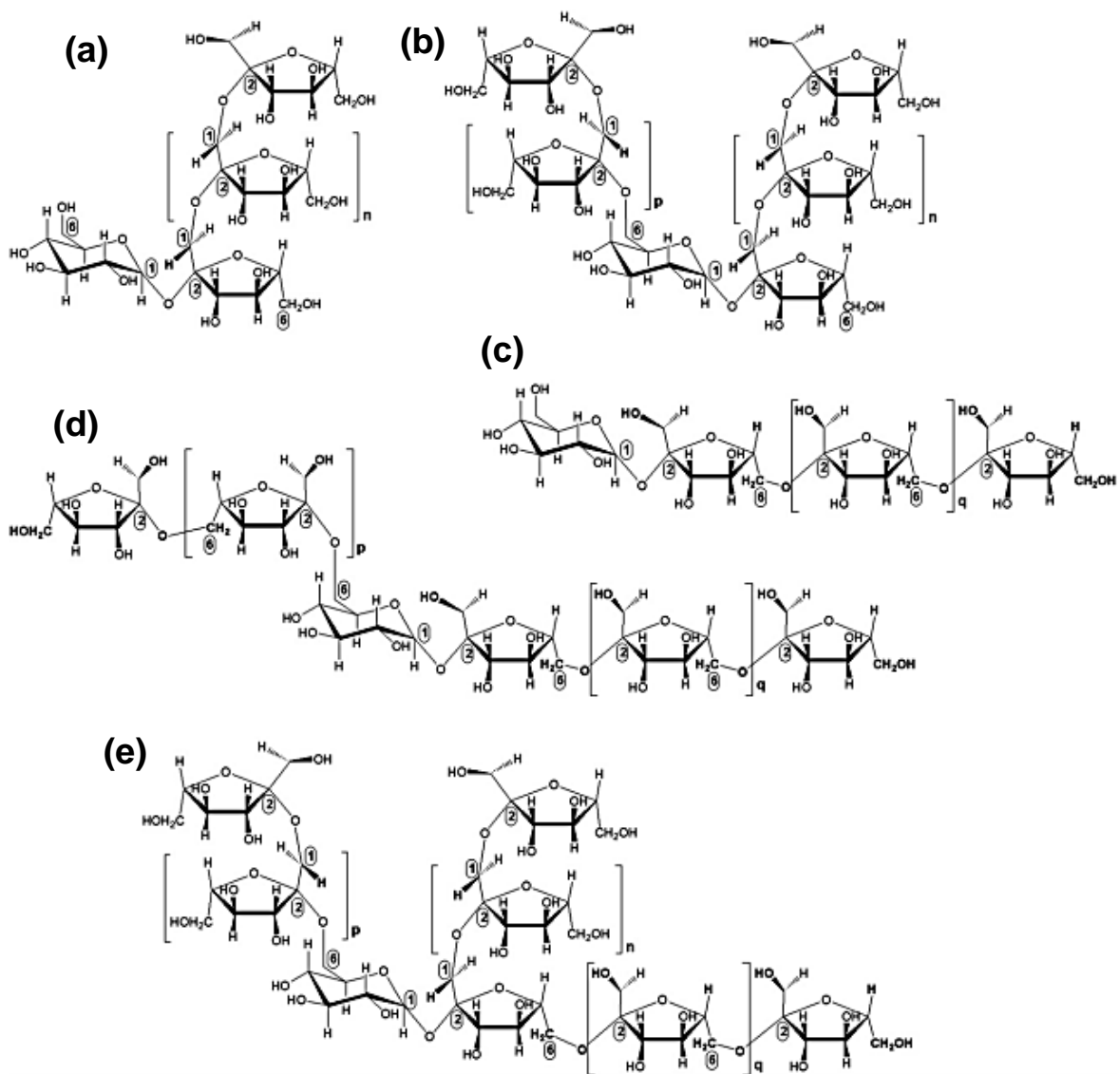


Figura 4. Estructura de fructanos. Inulinas (a), Neoserias de inulinas (b), Levanos (c), Neoserias de levanos (d), Mezcla de fructanos (e) (Waleckx et al., 2008).

Los diferentes tipos de fructanos pueden ser distinguidos de acuerdo con el tipo de enlace entre las uniones de fructosa y la posición de glucosa en la mitad de la estructura (Waleckx et al., 2008); por ejemplo, la inulina, tienen en su estructura enlaces del tipo β -(2-1) responsables de que estos no sean digestibles como lo sería cualquier carbohidrato típico, lo que a su vez tiene como consecuencia que tengan un bajo valor calórico y una funcionalidad nutricional como fibra dietética (Chacón, 2006). Los fructanos de *A. tequilana* Weber var. azul consisten en una mezcla compleja, principalmente un alto contenido de fructanos ramificados y neo fructanos (Waleckx et al., 2008).

1.1.2 Proceso de obtención de los jarabes

Proceso de obtención de los jarabes de maíz

El proceso descrito por White (2014) para el jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF) es llamado molienda húmeda de maíz, debido al flujo de agua que lleva las materias primas a través del proceso de fabricación a los productos terminados. La extracción de carbohidratos se logra mediante la ruptura física de la materia prima para permitir la separación de éstos, contenidos en el interior.

Se comienza limpiando el maíz, posteriormente éste es bañado en SO_2 en un proceso llamado sulfuración. La sulfuración sirve para ajustar el pH, minimizar la posterior formación de color y controlar el crecimiento microbiano, así como para suavizar la cáscara, permitiendo la difusión de SO_2 en el núcleo, lo que desnaturaliza la matriz de la proteína. Posteriormente se lleva a cabo una molienda y cribado de almidón con lo que se separan la cáscara del germen que contiene aceite. Se pasa a una filtración por centrifugación para eliminar los materiales insolubles no deseados, de esta forma se lava y se centrifuga de nuevo hasta obtener una alta pureza. En la molienda húmeda del maíz, las enzimas son usadas para la hidrólisis del almidón de alto peso molecular y la conversión molecular de glucosa a fructosa.

La hidrólisis tiene lugar en dos pasos: la licuefacción donde se utiliza ácido mineral diluido y/o α -amilasa para reducir la longitud del polímero del almidón hasta oligosacáridos y glucosa; la sacarificación utiliza glucoamilasa para hidrolizar los oligosacáridos restantes hasta glucosa. Según los requerimientos del producto de sacarificación a obtener, se escoge la enzima de acción. Por ejemplo, la enzima amiloglucosidasa favorece la producción de glucosa, mientras que las β -amilasas favorecen la formación de maltosa.

Se llevan a cabo ajustes al pH y la temperatura para optimizar las velocidades de reacción y prolongar la vida útil de la enzima. Las enzimas dextranasa y α -amilasa reducen el tamaño de las moléculas de almidón y dextrinas presentes, mejorando así la claridad y la filtración. Se sabe desde hace más de un siglo que la glucosa se puede convertir a su isómero estructural, fructosa, por isomerización alcalina, sin embargo, este proceso produce la descomposición y el empleo de glucosa isomerasa inmovilizada (reusable) lo que hace al proceso comercialmente viable.

Por último, se necesitan pasos de purificación para eliminar los compuestos no deseados para que los edulcorantes sean aceptables para alimentos y bebidas.

En la molienda húmeda de maíz, la corriente proveniente de la licuefacción y sacarificación es purificada por filtración, tratamiento con carbón y cromatografía de intercambio iónico para remover partículas gruesas, color y sabor no deseados y compuestos cargados produciendo el producto comercial dextrosa.

La inversión posterior de la corriente de alimentación de dextrosa produce el producto comercial jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF)-42 (42% de fructosa) que se vende tal como está o enriquecido en fructosa. La fructosa tiene una mayor afinidad que la glucosa para la resina de intercambio catiónico en forma de sal de calcio, efectuando una separación práctica de los dos. La fructosa enriquecida (90%) se mezcla con JMAF-42 para producir el producto comercial JMAF-55, que luego pasa por la misma secuencia de purificación descrita anteriormente.

Los jarabes de maltosa son producto de la hidrólisis ácido-enzimática o enzimática del almidón. Para numerosas aplicaciones es deseable una mayor proporción de maltosa, según la composición de los azúcares que conforman principalmente a los jarabes de maltosa. Los jarabes de 42 y 48 DE son usualmente tratados con una α -amilasa fúngica luego de una licuefacción ácida o enzimática donde se origina un producto de entre 20 y 22 DE. La mezcla proveniente de la licuefacción, luego de ser ajustada a un pH entre 5,1 y 5,5 debe ser enfriada hasta unos 60 °C y la enzima debe ser adicionada rápidamente para minimizar el riesgo de retrogradación. Los residuos de trisacáridos en los jarabes no son una desventaja normalmente, pero puede ser evitado con cierto costo adicional, mediante la utilización de una enzima β -amilasa.

En algunas ocasiones es deseable producir jarabes de alta maltosa con niveles bajos de glucosa. Para minimizar los niveles de glucosa es necesario utilizar una enzima de licuefacción que permita la obtención de productos de alrededor 12 DE, de esta forma luego con la adición de la enzima α -amilasa fúngica el nivel de glucosa alcanzado será entre un 2 y 3% en contraste con un 50% de maltosa, si una β -amilasa es usada dichos niveles estarían alrededor de un 1% (Gil, 2008).

Los jarabes de 62 y 70 DE no siempre son considerados como “jarabes de maltosa” ya que poseen altos niveles de glucosa. Sin embargo, su contenido de maltosa permite alcanzar gran dulzor y fermentabilidad sin correr riesgos de cristalización. Las enzimas utilizadas para la sacarificación es usualmente una mezcla de α -amilasa fúngica (productora de maltosa) y unamiloglucosidasa (productora de glucosa) (Gil, 2008). En general una alta proporción de α -amilasa fúngica permite obtener más maltosa en el producto, pero el sustrato disponible para la amilasa fúngica está limitado debido a que la enzima no actúa en los puntos de ramificación. La amiloglucosidasa puede producir tanto maltosa como sacáridos que se encuentren disponibles para la α -amilasa fúngica por lo tanto la cantidad utilizada es considerablemente pequeña (Gil, 2008).

Proceso de obtención del jarabe de agave

Para producir jarabe de agave, la planta debe crecer durante un mínimo de seis años para alcanzar la madurez apropiada, de modo que pueda cosecharse a mano. El corazón o la piña (pesando alrededor de 68 kg) se aísla de las hojas y luego se tritura en fibras mediante una molienda. El jugo dentro de las fibras se libera por gravedad en combinación con el lavado con agua caliente empleando un difusor diferente, y luego se filtra para eliminar las partículas. El jugo filtrado se somete a hidrólisis natural donde, durante un período de horas, la temperatura se incrementa a aproximadamente 80 °C. Durante la hidrólisis natural, las enzimas glucosídicas en el jugo (es decir, inulinasa y β -fructosidasa) convierten a los fructanos en monosacáridos libres, principalmente fructosa. Después de la hidrólisis, el zumo se filtra y luego se somete a evaporación a vacío a aproximadamente 90 °C para eliminar el agua y desnaturalizar la actividad glucosídica, lo que da como resultado el jarabe terminado (Willems y Low, 2012).

Por norma, no está permitido el uso de ningún tipo de aditivo alimentario o de algún ingrediente de origen distinto al agave, así que las únicas entradas al proceso de elaboración de jarabe son la piña de agave y agua. La simple manipulación de los carbohidratos de la piña convierte al jarabe de agave, en un edulcorante natural, comparable con el jarabe de maple y la miel de abeja (García-González y López, 2013). Esta distinción lo aleja completamente de jarabes que necesitan procesos complejos de transformación para su producción como el jarabe de maíz de alta fructosa y el de caña, entre otros (García-González y López, 2013).

1.2 Propiedades de los azúcares

Cristalización

Una de las principales características de los azúcares es su capacidad de formar cristales. Generalmente la cristalización se consigue enfriando soluciones saturadas de los azúcares con lo que se provoca la inmovilización y reorganización de las moléculas, formándose un cristal. Los factores que más influyen en el crecimiento

de los cristales son los siguientes: grados de saturación de la disolución original, temperatura, naturaleza de la superficie del cristal y concentración de las impurezas presentes en la disolución, las cuales pueden absorberse a la superficie del cristal reduciendo así su velocidad de crecimiento. El tiempo también influye ya que cuanto más lento es el enfriamiento, mayor es el tamaño de los cristales (Cambero et al., 1999).

Isomería estructural

Las aldosas y cetosas con el mismo número de átomos de carbono son isómeros estructurales porque tienen la misma fórmula condensada y diferente fórmula desarrollada, difieren en el tipo de radical. La fructosa es un isómero estructural de la glucosa al tener la misma fórmula molecular (Velázquez y Ordorica, 2010); durante el proceso de elaboración de los jarabes de maíz se lleva a cabo una isomeración alcalina de tal modo que se producen jarabes con mayor contenido de fructosa o glucosa según sea el caso (White, 2014).

Actividad óptica

Los monosacáridos, tienen al menos un carbono quiral, y por lo tanto al igual que los aminoácidos, presentan actividad óptica y también isomería óptica (Velázquez y Ordorica, 2010). Se llama actividad óptica a la capacidad que presentan las soluciones de algunas sustancias, de rotar el plano de vibración de la luz polarizada. Las sustancias que rotan el plano en el sentido de las manecillas del reloj se conocen como dextrógiras y a su rotación se le asigna el signo positivo y las sustancias que desvían el plano en el sentido contrario de las manecillas del reloj se conocen como levógiras y su rotación tiene signo negativo (Velázquez y Ordorica, 2010). Para el análisis de las soluciones de azúcar se utiliza la polarimetría; la rotación óptica de una solución depende de la clase de compuesto quiral, su concentración, y del espesor de la capa de la solución. De esta manera es posible determinar, por ejemplo, el contenido de sacarosa en los vinos (Koolman y Rohm, 2003), así como para la comprobación de la pureza de azúcares.

Poder edulcorante

Una de las propiedades más reconocidas de los carbohidratos es su poder edulcorante. Salvo muy pocas excepciones los mono y oligosacáridos poseen sabor dulce y se diferencian entre sí, entre otras cosas, por su poder edulcorante. Los más importantes son la sacarosa, la glucosa, la fructosa y los jarabes de almidón. Normalmente el poder edulcorante de un azúcar no está en función de su concentración, por lo que es muy difícil asegurar que un azúcar es “n” veces más dulce que otro. La medida de la intensidad del sabor dulce se lleva a cabo mediante la determinación del umbral de percepción del sabor o por comparación con una sustancia de referencia, por ejemplo, en el Cuadro 4 se muestra el poder edulcorante de algunos compuestos en relación con la sacarosa ya que ésta destaca sobre las demás por su sabor especialmente agradable incluso a concentraciones altas (Cambero et al., 1999).

Cuadro 4. Poder edulcorante relativo a la sacarosa de diferentes azúcares y jarabes de maíz (sacarosa = 1).

Compuesto	Poder edulcorante relativo
Fructosa	0.8 – 1.7
Galactosa	0.3 – 0.6
Glucosa	0.7
Jarabe de azúcar invertido	1.0 – 1.6
Jarabe de maíz de alta fructosa (42%)	0.9
Jarabe de maíz de alta fructosa (55%)	0.99

La intensidad y la calidad del sabor no depende sólo de la estructura del azúcar (la intensidad del sabor disminuye en los oligosacáridos con el aumento de la longitud de la cadena) sino de la temperatura, pH y de la presencia de otras sustancias que puedan interferir con los receptores del sabor (Cambero et al., 1999).

Funciones fisiológicas

La fructosa y la glucosa proporcionan energía, es decir calorías, además desempeñan un papel importante en la regulación del metabolismo humano. El índice glucémico es una medida de la rapidez con que aumenta el azúcar en la sangre (glucosa) después de comer un alimento o ingrediente específico (White, 2014). El aumento de la ingesta de fructosa y sacarosa principalmente como bebidas azucaradas en refrescos y jugos, coincide con el aumento de la prevalencia de sobrepeso y obesidad a finales del siglo XX. En estudios experimentales, cuando se agregan a la dieta bebidas endulzadas, los sujetos no compensan la energía adicional proporcionada por estas bebidas al reducir la ingesta de energía de otras fuentes, y por lo tanto aumenta la ingesta total de energía (Kleim et al., 2016).

Por otra parte, estudios científicos han demostrado que el consumo de fructanos estimula el tránsito de los alimentos, contribuye al desarrollo de la microbiota intestinal benéfica, protege contra la presencia de carcinógenos en la dieta, mejora el sistema inmunológico, aumenta la absorción de calcio y disminuye los niveles de glucosa y colesterol en la sangre (García-González y López, 2013).

1.3 Propiedades de los jarabes

Higroscopicidad

La capacidad de absorción de agua depende entre otros factores de su estructura, de la mezcla de isómeros y de su pureza. La higroscopicidad está relacionada directamente con los grupos hidroxilos, los cuales son capaces de unirse al agua mediante el establecimiento de puentes de hidrógeno. Los azúcares impuros y los jarabes absorben más agua y a más velocidad que los azúcares puros ya que las impurezas dificultan el establecimiento de reacciones entre los azúcares y dejan libres los grupos hidroxilos que pueden unirse con facilidad a las moléculas de agua (Cambero et al., 1999).

Estado vítreo

El estado vítreo es un estado amorfo en el cual la viscosidad es tan alta que impide la cristalización del azúcar. Es un estado poco estable que puede alcanzarse por congelación, concentración rápida o deshidratación de una solución, así como por fusión térmica de algunos azúcares cristalinos seguida de un enfriamiento brusco que impiden que las moléculas se reorganicen y formen un cristal. Los azúcares en estado vítreo son higroscópicos, lo cual contribuye a su inestabilidad ya que al retener el agua aumenta su movilidad y en consecuencia la velocidad de cristalización. El ejemplo más característico de los azúcares en estado vítreo en un alimento es el de los caramelos duros, que no son más soluciones sobresaturadas de sacarosa cuya cristalización se ve impedida por la alta viscosidad y rigidez en la masa y por la presencia de otros azúcares como glucosa y jarabes de glucosa (Cambero et al., 1999).

Concentración de sólidos

Una propiedad muy importante en los jarabes es la concentración de sólidos. El contenido de sólidos solubles se mide indirectamente con base en propiedades como la densidad e índice de refracción, ya que la adición de sólidos solubles al agua produce cambios en estas propiedades. El índice de refracción puede ser definido como la relación entre la velocidad de la luz monocromática en el aire y su velocidad en la sustancia considerada, y es la división entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, cuando la luz pasa del aire a la sustancia. Varía con la temperatura y longitud de onda de la luz y el tipo y concentración de sólidos cuando se trata de soluciones (Hart, 1991).

Los grados Brix ($^{\circ}$ Brix) se refieren a la concentración de sacarosa (en porcentaje) en solución y su determinación se pueden realizar indirectamente empleado cambios en densidad por efecto de la concentración de sacarosa (densímetros graduados en $^{\circ}$ Brix) o cambios en el índice de refracción (refractómetros graduados en $^{\circ}$ Brix). Cuando el contenido de sólidos de los jarabes de glucosa se mide mediante refractómetros calibrados en $^{\circ}$ Brix, se debe aplicar alguna corrección para obtener

el verdadero nivel de sólidos. Las mediciones de °Brix se usan comúnmente en la industria de la sacarosa y se refieren al porcentaje de sacarosa en solución (Hobbs, 2009).

Otra escala empleada frecuentemente en jarabes para medir el contenido de sólidos solubles es la escala Baumé, basada en la densidad. La densidad permite determinar la concentración de compuestos que se encuentran en solución, los sólidos presentes en un producto y para identificar diversos materiales. Existen distintos aparatos de medición como lo son los picnómetros, hidrómetros, densímetros y aerómetros (Alvarado y Aguilera, 2001).

Las escalas Baumé usa dos tipos, uno para líquidos más densos que el agua y otro para líquidos más ligeros que el agua, (ecuaciones 1 y 2) (Crane, 1992).

Para líquidos más ligeros que el agua:

$$S (60\text{ }^{\circ}\text{F}/ 60\text{ }^{\circ}\text{F}) = \frac{140}{130 + \text{Grados Baumé}} \quad (1)$$

Para líquidos más pesados que el agua:

$$S (60\text{ }^{\circ}\text{F}/ 60\text{ }^{\circ}\text{F}) = \frac{145}{145 + \text{Grados Baumé}} \quad (2)$$

Donde S se refiere a la densidad relativa y por medio de tablas de equivalencia entre °Baume y densidad relativa se puede determinar el valor de la densidad absoluta en kg/m³.

Equivalente de dextrosa

El grado de conversión de almidón a glucosa se mide en términos del equivalente de dextrosa (DE), que se define como el porcentaje de azúcares reductores de un jarabe, calculado como dextrosa en base seca (Badui, 2006).

Cuanto mayor es DE, mayor es el grado de hidrólisis lo que repercute en otras propiedades, de tal forma que a un valor alto de DE se tiene mayor dulzor, higroscopicidad, humectación, depresión del punto de congelación y mayor

fermentabilidad, por el contrario, si DE es bajo se presentara mayor viscosidad, estabilidad en espumas, actuara mejor como agente de cuerpo y ayudara en la prevención de la cristalización del azúcar (Cuadro 5). DE es un parámetro regulado por las normas para los jarabes. Puede determinarse mediante una modificación del método de Lane y Eynon.

Cuadro 5. Propiedades funcionales de los productos de la hidrólisis del almidón (Fennema, 2000).

Propiedades obtenidas por el alto grado de hidrólisis (Alto DE)	Propiedades obtenidas por el menor grado de hidrólisis (Bajo DE)
Dulzura	Viscosidad
Higroscopicidad y humectación	Estabilización de espumas
Depresión del punto de congelación	Prevención de la cristalización de azúcar
Elevación del punto de ebullición	Agente de cuerpo
Incremento del sabor	
Fermentabilidad	
Reacción de pardeamiento	

1.3.1 Propiedades fisicoquímicas de los jarabes

pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias. El intervalo de pH va de 0 a 14, es un factor de gran importancia en la conservación y almacenamiento de los alimentos, así como en los procesos de transformación. También tienen influencia en la textura. Se puede determinar mediante indicadores, aunque se determina con mayor exactitud con métodos eléctricos como potenciómetros (Pearson, 1981).

Color

Típicamente, el color de los edulcorantes de maíz comerciales, particularmente los jarabes con alto contenido de fructosa y dextrosa se expresan en la absorbancia medida contra un estándar de referencia de agua a 450 nm y 600 nm (Hobbs, 2009). Varias reacciones pueden causar el desarrollo de color en edulcorantes derivados de almidón. Debido a que contienen azúcares reductores, reaccionarán con proteínas y aminoácidos a través de la reacción de pardeamiento no enzimático entre azúcares y aminos primarios o secundarios (reacción de Maillard) para formar lo que se conoce como "cuerpos de color". Desarrollo del color que ocurre en ausencia de compuestos nitrogenados con la aplicación de calor o ácidos es el resultado de la caramelización (Hobbs, 2009).

El poder clasificar la miel según su color es importante a la hora de comercializar el producto y así poder establecer un precio de venta acertado. Además de tener características nutricionales distintas, las mieles más claras tienden a ser más costosas que las mieles más oscuras, aunque en ambos casos de coloraciones los usos y mercados son amplios. En el mercado se encuentran colorímetros Pfund. El valor que entrega el equipo debe compararse con una escala (Cuadro 6) de valores que indica la clasificación de la miel respecto de su color, en función de la medida que entrega el equipo. Esta escala es universal y fue establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, para designación de color de la miel (Hanna Instruments, 2017).

Cuadro 6. Intervalo de color para clasificar mieles (Delmoro et al., 2010).

Escala Internacional	mmPfund
Blanco agua	0 – 8
Extra blanco	8 – 17
Blanco	17 – 34
Ámbar extra claro	34 – 50
Ámbar claro	50 – 85
Ámbar	85 – 114
Ámbar oscuro	Más de 114

Humedad

La determinación de la humedad es de gran importancia debido principalmente a que, si está por encima de ciertos niveles, facilita el desarrollo de los microorganismos, así como se presenta una modificación en la textura, se utiliza como factor de calidad para evitar la cristalización del azúcar en jarabes, también es utilizado como un estándar de identidad. Puede determinarse por medio de métodos como el secado (Pearson, 1981).

La humedad y la actividad de agua contribuyen a los atributos funcionales llamados higroscopicidad y humectación. La fructosa es superior a la glucosa y a la sacarosa en ambos atributos, dando a la fructosa cristalina y al jarabe de maíz de alta fructosa las siguientes ventajas funcionales: control de la humedad para evitar la separación en el yogur y las salsas; extender la vida útil de productos horneados al retrasar el envejecimiento y el crecimiento microbiano; y retener la humedad en productos secos como granola y barras de desayuno y energía. Las capacidades de retención de humedad hacen que sea muy difícil cristalizar la fructosa y, en consecuencia, el jarabe de maíz de alta fructosa (White, 2014).

Si bien esta característica hace que el jarabe de maíz de alta fructosa no sea adecuado para su uso en productos horneados que requieren recristalización de azúcar para ayudar a la estructura del producto, posibilitó el desarrollo de galletas de textura suave donde la cristalización es perjudicial (White, 2014).

La fructosa y el jarabe de maíz de alta fructosa también proporcionan un control superior del agua en sistemas congelados como helados, dulces, productos horneados congelados y jugos. Controlan la migración de humedad y el crecimiento de cristales de hielo en los congeladores, lo que minimiza la separación de agua / hielo y el daño del tejido de la fruta (White, 2014).

Actividad de agua

Es la relación entre la presión de vapor del agua del alimento y la del agua pura a la misma temperatura, depende de la composición, la temperatura y el contenido de agua en el producto. El concepto de actividad de agua (a_w) se ha utilizado como una evaluación confiable del crecimiento microbiano, oxidación de lípidos, actividades no enzimáticas y enzimáticas, y la textura / sensación en la boca de los alimentos después de la fabricación. Tiene incidencia sobre las características de calidad, tales como: textura, sabor, color, gusto, valor nutricional del producto y su tiempo de conservación, ya que es un factor determinante en el crecimiento de los microorganismos (Sablani et al., 2007).

Un material higroscópico absorbe la humedad de la atmósfera que lo rodea, la ganancia o pérdida de humedad en un jarabe de maíz depende de la humedad relativa (Hobbs, 2009). El material del envase es fundamental, ya que, si éste es permeable y el alimento se almacena en una atmósfera de humedad relativa mayor que la de equilibrio, habrá una migración hacia el interior (higroscopicidad), y la a_w se incrementará. Aun cuando el material de empaque sea totalmente impermeable, la actividad del agua puede incrementarse con la temperatura. En cualquier caso, el alimento tendrá una a_w distinta que favorecerá el crecimiento de microorganismos o de reacciones indeseables. Por otra parte, esta transferencia de agua también ocurre internamente entre los constituyentes de un alimento, como sucede en las barras de los cereales con algunos componentes de humedad intermedia (Badui, 2006).

Puede determinarse por métodos psicrométricos, higrométricos y gravimétricos. La estabilidad física, química y microbiológica de los alimentos depende altamente del contenido de agua y su interacción con otros ingredientes (Sablani et al., 2007).

Perfil de carbohidratos

El perfil de carbohidratos permite conocer los diferentes azúcares presentes en los alimentos, por lo que se puede saber de manera más precisa su composición.

Para los jarabes, dependiendo de la materia prima y el proceso de hidrólisis es que se puede obtener diferentes cantidades de carbohidratos como glucosa, fructosa y maltosa. Este puede determinarse de manera individual para cada carbohidrato por algún método más complejo como cromatografía. El perfil de carbohidratos de un jarabe tendrá influencia en sus propiedades como la transición vítrea (T_g), higroscopicidad, cristalización, viscosidad, propiedades adhesivas y propiedades coligativas de un jarabe (White, 2014).

Los jarabes de maíz son uno de los ingredientes más usados en la industria de alimentos por lo que han sido estudiados por algunos autores y se han propuesto normas que regulen sus propiedades (IA Alimentos, 2015).

En cuanto a la normatividad, es posible consultar la norma NMX-F-005-1983 para glucosa de maíz la cual contiene especificaciones como humedad, Equivalente de Dextrosa (DE) y pH de acuerdo con los $^{\circ}$ Baume, en el Cuadro 6 estas propiedades se resumen. En la NMX-F-169-1984 para jarabes estipula que estos deben de cumplir con un mínimo de 59.1° Brix a 15° C; un pH mínimo de 3 y máximo de 7; un porcentaje máximo de 3% en cenizas y un máximo de 10 ppm de metales pesados (Pb). Se han llevado a cabo algunos estudios para diferentes tipos de jarabes, principalmente de maíz, reportando los siguientes resultados: pH que varió entre 4.7 a 7, mientras que para los jarabes de agave el pH fue más ácido (3.7 a 5.08); los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) presentaron valores más altos en los jarabes de maíz (76.6 – 84) que en los de agave (73.4 - 79.5), y se reportaron valores de humedad de 21 a 22% en los jarabes de maíz, mientras que para los jarabes de agave se encontró en un intervalo de 19 a 25% (Mellado-Mojica y López-Pérez, 2013, 2015).

En una comparación del jarabe de agave con un jarabe de maíz comercial Frudex 55 (70% sólidos de los cuales 55% fructosa, 45% glucosa), se reportó un valor de 30% de humedad para ambos jarabes (Cuadro 7). También se reporta la actividad de agua con un valor más alto de 0.702 para el de maíz, mientras que para el jarabe de agave fue inferior (0.669) (Montañez et al., 2011).

Cuadro 7. Propiedades físicas y fisicoquímicas de jarabes reportadas por diversos autores (1. Mellado-Mojica y López-Pérez, 2013; 2. Mellado-Mojica y López-Pérez, 2015; 3. NMX-F-005-1983; 4. Montañez et al., 2011).

Propiedad	Jarabe de maíz ¹	Jarabe de agave ¹	Jarabe de maíz ²	Jarabe de agave ²	Glucosa de maíz ³	Frudex 55 ⁴	Jarabe de agave ⁴
Densidad °Baumé	-	-	-	-	42.8 – 45	-	-
°Brix	76 – 77	73.4 – 79.5	76.5- 77.4	65 – 79.5	-	-	-
Densidad (kg/m ³)	-	-	-	-	-	1500	-
Humedad (%)	21 – 22	19 – 25	-	-	5 – 19	30	30
Equivalente de Dextrosa (DE)	-	-	-	-	39 – 85	-	-
pH	4 – 4.7	3.6 – 4.4	3.36 – 5.23	3.66 – 5.26	4.5 – 5.4	-	-
aw	-	-	-	-	-	0.702	0.669

En el Cuadro 8 se muestra las propiedades fisicoquímicas de diversos tipos de jarabes de maíz comerciales, con diferente grado de hidrólisis (DE 23-65) o de alta concentración de maltosa, por lo tanto, con diferentes valores de humedad (15.3 - 29.5%). En general, las propiedades se encuentran dentro del siguiente intervalo, 41.7 a 44.3 °Baumé, el índice de refracción de 1.45 a 1.50, mientras que para el pH se tiene un intervalo de 4 a 6. Las propiedades de los jarabes dependen en gran medida de su composición, por ejemplo, el jarabe 50% de maíz alto en maltosa, tiene un mayor índice de refracción, mayor contenido de sólidos totales, pero menor pH en comparación con el jarabe de maíz refinado de dextrosa líquida 99%.

Las propiedades de los jarabes dependen en gran medida de su composición, por ejemplo, el jarabe 50% de maíz alto en maltosa, tiene un mayor índice de refracción, mayor contenido de sólidos totales, pero menor pH en comparación con el jarabe de maíz refinado de dextrosa líquida 99%.

Cuadro 8. Propiedades fisicoquímicas de diferentes jarabes de maíz comerciales obtenidos de fichas técnicas (Cargill, 2013).

Propiedad	Jarabe de maíz 25/42*	Jarabe 50% de maíz alto en maltosa	Jarabe de maíz 63/43*	Jarabe de maíz 43/43*	Jarabe de maíz de alta maltosa 43%	Jarabe de maíz refinado de dextrosa líquida 99%	Jarabe de maíz 63/44*
DE	23 – 27	-	61 -65	41 -45	-	-	61 – 65
Densidad °Baume	41.7 – 42.3	42.7 -43.3	42.7 – 43.3	42.7 – 43.3	42.7 – 43.3	-	43.7 – 44.3
Índice de refracción (45°C)	1.48 – 1.49	1.492 – 1.495	1.491 – 1.494	1.492 – 1.495	1.492 – 1.495	1.45- 1.46	1.49 – 1.50
Sólidos totales (%)	77.4 – 78.6	80.4 -81.6	81.4 -82.6	80.1 -81.3	80.4 – 81.6	70.5 – 71.5	83.5 – 84.7
Humedad (%)	21.4 – 22.6	18.4 – 19.6	17.4 – 18.6	18.7 – 19.9	18.4 – 19.6	28.5 – 29.5	15.3 – 16.5
pH	4.5 – 5.3	4.5 – 5.3	4.5 – 5.3	4.5 -5.3	4 – 6	4 – 6	4 – 6
Dextrosa (%)	7	8	36	19	12	99	36
Maltosa (%)	8	50	31	14	43	0.6	31
Maltotriosa (%)	11	25	13	12	20	0.2	13
Sacáridos (%)	74	17	20	55	25	0.1	20

*El primer número corresponde a DE y el segundo a su densidad en °Baumé.

1.3.2 Comportamiento al flujo de jarabes

El conocimiento de las características reológicas de la miel y jarabes es importante desde el punto de vista del almacenamiento y el manejo (Ahamed et al., 2007); ya que éstas tienen una influencia considerable durante el proceso de fabricación en operaciones como el mezclado, bombeo, el transporte en tubos y la evaporación (Abbes et al., 2015).

La viscosidad representa la propiedad fundamental del estudio reológico de líquidos y se aplica cada vez más para determinar el comportamiento de las soluciones, suspensiones o mezclas tratadas y para caracterizar el fluido (Gabsi et al., 2013). Este tipo de prueba se puede llevar a cabo por medio de reómetros.

Los líquidos viscosos dependen esencialmente de la temperatura y la composición (Abbes et al., 2015). La viscosidad en los edulcorantes derivados del almidón (como los jarabes de maíz) se debe principalmente al nivel de sólidos y al porcentaje de sacáridos superiores presentes (Hobbs, 2009). En la miel, por ejemplo, las características de viscosidad dependen de la longitud de la cadena molecular de los carbohidratos presentes en ésta. Los principales carbohidratos en la miel son monosacáridos (glucosa y fructosa), mientras que pequeñas cantidades de disacáridos (por ejemplo, maltosa y sacarosa) también están presentes. Para la misma fracción de masa, los disacáridos contribuyen a una mayor viscosidad que los monosacáridos en un sistema de solución (Ahmed et al., 2007).

En la mayoría de los casos, la viscosimetría de cizalla se ha empleado para caracterizar las propiedades reológicas de la miel que indica que ésta es un fluido newtoniano (Ahamed et. al, 2007), de la misma manera los jarabes de glucosa presentan las características de independencia en la velocidad de cizalla (Hobbs, 2009). Se han reportado algunos valores de viscosidad tanto para jarabe de agave como de maíz, Hernández et al., (2008) reportan valores de 271 a 288 mPa.s para jarabes de maíz, valores más altos que el reportado por Montañez et al. (2011), que

es de 224 mPa.s, mientras que para el jarabe de agave reportó un valor de 212 mPa.s.

1.3.3 Propiedades adhesivas

Una característica textural típica de los jarabes son las propiedades adhesivas. La adherencia a los alimentos se manifiesta de maneras claramente diferentes; por ejemplo, en la adhesión al equipo de proceso, la cohesión de los polvos, la adherencia al envase, la adherencia a los dedos y a partes de la boca (Kilkast y Roberts, 1998).

La adhesividad puede ser una característica tanto negativa como positiva de los alimentos. Es una característica esperada de muchos alimentos siempre que no se alcancen niveles excesivamente altos, por ejemplo, en galletas blandas, caramelos y frutos secos (Kilkast y Roberts, 1998). En la literatura sobre propiedades adherencia, se ha descrito de manera general que la energía superficial y la humectación son de la mayor importancia (Kilkast y Roberts, 1998).

Inicialmente la adherencia incrementa con el contenido de humedad hasta un máximo alcanzado, seguido de un decremento en adherencia hasta un alto contenido de humedad (Nowakowski y Hartel, 2002).

La adhesividad y el agrietamiento son fenómenos que pueden ocurrir cuando alimentos amorfos son calentados o expuestos a alta humedad, sin embargo, estas son indeseables durante su proceso. Estos cambios en el estado físico son controlados por la temperatura de transición vítrea y que determina precisamente el contenido crítico de humedad de un sistema donde estos cambios pueden ocurrir (Espinosa-Andrews y Urias-Silvas, 2012).

En el estudio realizado por Kilkast y Roberts (1998) las medidas sensoriales de la adherencia se encontraron relacionadas tanto con la tensión superficial como con la viscosidad de los jarabes utilizados. Tanto la reología del producto como la

energía superficial pueden contribuir a los fenómenos de adherencia, y en condiciones críticas es posible minimizar la adherencia ya sea al cambiar las superficies involucradas, o al cambiar la composición del producto o las condiciones de operación.

La adhesividad también tiene relación con otras propiedades; ésta aumenta en función a la humedad hasta que se alcanza un máximo, con lo que a una mayor absorción de humedad hay una reducción de adherencia (Nowakowski y Hartel, 2002). Casey (1989) demostró que una distribución amplia del peso molecular en un sistema aumenta la adherencia y la fuerza cohesiva. La pérdida de adherencia puede ser debida a la falta de adherencia a otra superficie (falla adhesiva), o la atracción a otra superficie tiene una resistencia mucho mayor que la atracción dentro del mismo.

La adhesividad depende de las propiedades físicas de la superficie del producto y las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura) en que se almacena. Sin embargo, la magnitud de la adhesividad también depende del método utilizado para evaluarla. Las pruebas mecánicas miden el impacto de la composición y las condiciones ambientales en las propiedades viscoelásticas de un material, y se pueden combinar con pruebas sensoriales para correlacionar las propiedades físicas con la percepción humana de adhesividad, fragilidad o masticabilidad (Nowakowski y Hartel, 2002).

1.3.4 Propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea

Durante el procesamiento, los azúcares y edulcorantes en las formulaciones de confitería típicamente pasan por una o más fases de transición, dependiendo de la naturaleza del producto. Los cambios en el comportamiento de fase también pueden ocurrir durante el almacenamiento, generalmente con un efecto negativo en la vida útil. El estudio de esta propiedad es importante en el desarrollo de nuevos productos y en la distribución y almacenamiento de productos ricos en miel (Hadjikinova y Marudova, 2016).

Por lo tanto, el conocimiento sobre el comportamiento térmico de azúcares y edulcorantes podría ayudar a la optimización de la tecnología y a encontrar las mejores condiciones de almacenamiento (Hadjikinova y Marudova, 2016).

Las transiciones más importantes para los azúcares y edulcorantes son la fusión y la transición vítrea. La fusión es una transición de primer orden endotérmica en la que la estructura cristalina se destruye y el material pasa al estado líquido. Los azúcares cristalinos se derriten, cuando se calientan a su temperatura de fusión o por encima de ella. Los azúcares no tienen temperaturas de fusión bruscas y su fusión se produce en un intervalo de temperatura. Las temperaturas de fusión de los azúcares son sensibles al agua, las impurezas y la cristalinidad (Hadjikinova y Marudova, 2016). En la Figura 5 se muestra un termograma en donde se observa la fusión de diferentes carbohidratos.

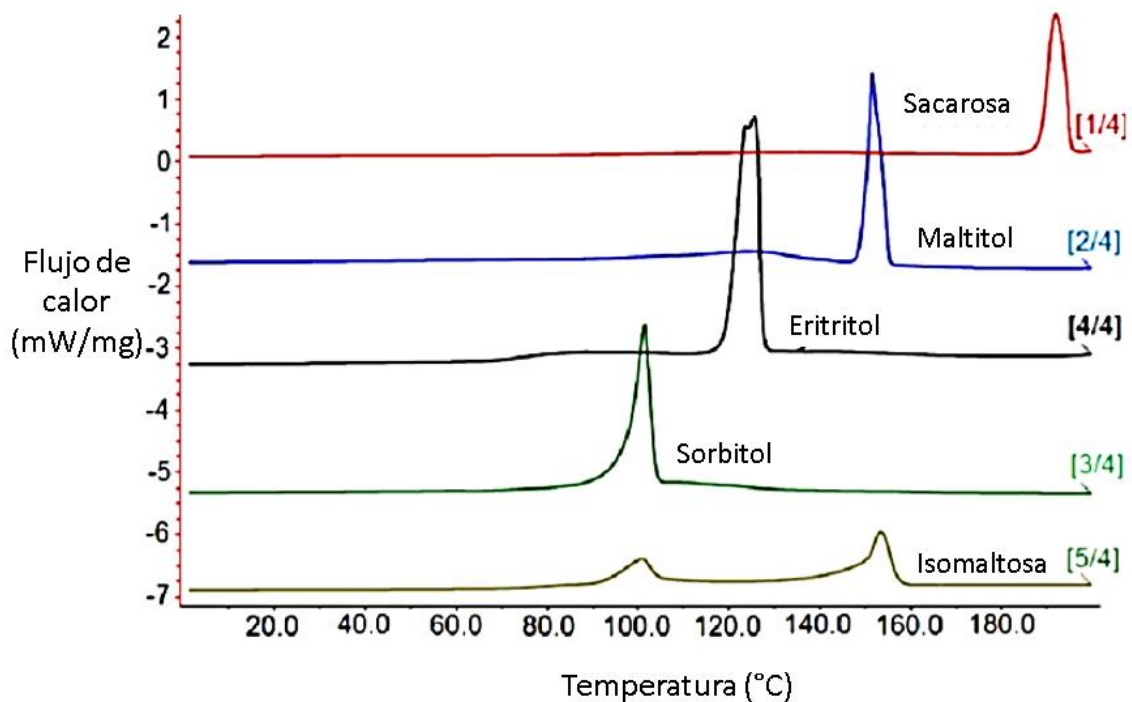


Figura 5. Termograma temperaturas de fusión de algunos carbohidratos (Hadjikinova y Marudova, 2016).

La transición vítrea (T_g) es una transición de estado de segundo orden; en los polímeros se puede observar experimentalmente midiendo alguna propiedad termodinámica, física, mecánica o eléctrica en función a la temperatura. Por lo tanto, la transición vítrea se puede medir mediante el seguimiento de los cambios en estas propiedades (Sperling, 2006). Muchos exhiben un fenómeno conocido como relajación entálpica (Bhandari y Hartel, 2008), que podría definirse vagamente como el reordenamiento de las moléculas de azúcar en estado vítreo.

La T_g se considera como la temperatura de comienzo de la variación de la capacidad calorífica, lo que permite que sea determinada a través de una técnica calorimétrica: calorimetría diferencial de barrido (Celeghin y Rubiolo, 2002); ésta es relativamente rápida y ya que no requiere de solventes esto la hace amigable con el ambiente (Sobrino et al., 2017).

Esta técnica permite identificar la adulteración en jarabes y mieles ya que se basa en el hecho de que cada uno tiene características y propiedades intrínsecas. De esta forma la transición vítrea representa el cambio de la capacidad calorífica que se observa en los termogramas de las muestras al graficar el flujo de calor en función de la temperatura (Celeghin y Rubiolo, 2002).

El estado vítreo es metaestable debido a la movilidad molecular limitada, por lo que las reacciones químicas basadas en la difusión y los cambios físicos (como la cristalización) son muy limitados. La T_g se rige por la composición molecular, el grado de reticulación del polímero y la concentración de plastificante (como el agua) (Hadjikinova y Marudova, 2016).

La transición vítrea tiene lugar en un intervalo de temperatura (Liu et al., 2007), sin embargo, para fines prácticos a menudo se considera como una temperatura puntual y se reporta la temperatura del punto medio (Figura 6).

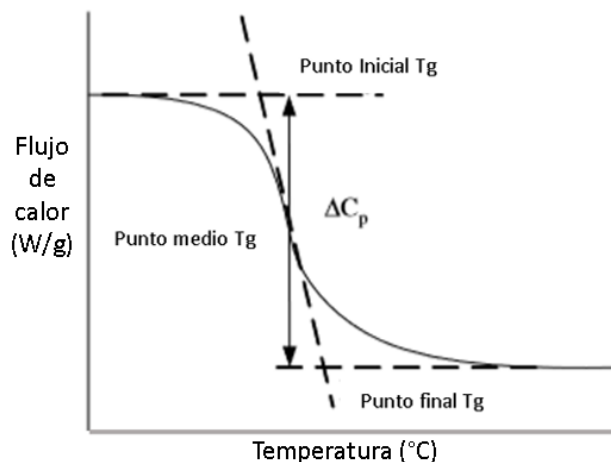


Figura 6. Termograma, punto inicial, medio y final de transición vítrea (Liu et al., 2007).

Habitualmente, la transición vítrea de una mezcla se produce entre las temperaturas de transición vítrea de los componentes y puede expresarse mediante la ecuación de GordonTaylor (Ecuacion 3).

$$Tg = \frac{\omega_1 Tg_1 + K \omega_2 Tg_2}{\omega_1 + K \omega_2} \quad (3)$$

Donde Tg , Tg_1 y Tg_2 son la temperatura de transición vítrea de la mezcla binaria, el componente 1 y el componente 2 respectivamente; ω_1 y ω_2 son la fracción peso del componente 1 y el componente 2 respectivamente y K es una constante.

Se han llevado a cabo estudios en jarabes, en donde se han reportado valores puntuales de temperatura de transición vítrea para jarabes de maíz con valores de 76.90 °C (Celeghin y Rubiolo, 2002), y 45 °C, así como para jarabe de maple con un valor de 32.8 °C y agave 75.18 °C (Sobrino et al., 2017); aunque es poca la información para jarabes, es posible encontrar más información en la literatura acerca de sus componentes como se presenta en el Cuadro 9, donde se muestran temperaturas de transición y punto de fusión de algunos carbohidratos como sacarosa y fructosa.

El agregado de oligosacáridos o polisacáridos a una mezcla de monosacáridos aumenta la Tg de la misma tal como lo demostraron Celeghin y Rubiolo (2002) al adicionar dextrosa y maltodextrinas a distintas mezclas de azúcares con distinta humedad, dando como resultado un efecto plastificante del agua que se vio reflejado en la disminución de Tg; de modo contrario al adicionar maltodextrinas a las mezclas hubo un aumento en la Tg. Así el efecto plastificante del agua también es un factor que contribuye a las características de estabilidad en almacenamiento de algunos productos como los fructanos en polvo (Espinosa-Andrews y Urias-Silvas, 2012).

Cuadro 9. Temperatura de transición vítrea y punto de fusión de diferentes carbohidratos.

Autor	Temperatura de fusión (°C)			Temperatura de transición vítrea (°C)		
	Ahmed et al., 2007	Saavedra-Leos et al., 2012	González, 2012	Roos, 1993	Espinosa-Andrews y Urias-Silvas, 2012	González, 2012
Glucosa	150	141.89 – 180	-	31	-	-
Fructosa	125	110 – 156.34	-	5	-	-
Sacarosa	-	177.13 – 203.54	-	52 – 70	-	-
Fructanos	-	-	210 – 236	-	101 – 131.3	54

Los valores de Tg generalmente incrementan con el incremento del peso molecular. Los mayores carbohidratos presentes en miel son fructosa y glucosa que contribuyen a la transición vítrea en muestras de mieles, sin embargo, la relación de azúcares depende de la fuente y condiciones del medio ambiente que finalmente gobiernan Tg de la miel (Ahmed et al., 2007).

Roos (1993) evaluó la estabilidad de la maltodextrina. Sus resultados indicaron que el aumento del peso molecular del material requirió un aumento de la actividad crítica del agua de 0.09 a 0.70 para deprimir la Tg a temperatura ambiente. Al mismo tiempo, la presencia de pequeñas cantidades de agua en productos ricos en azúcar tiene poca influencia en la actividad del agua (Sablani et al., 2007).

Roos y Karel mostraron que la Tg aumentaba a medida que aumentaba el peso molecular en una serie de maltodextrinas (DE 4 a 20). Estos difieren en el nivel de hidrólisis del almidón, medido por equivalente de dextrosa (DE), o mediante tratamientos especiales tales como el intercambio iónico o jarabes con alto contenido de maltosa (Sablani et al., 2007). Por lo tanto, los constituyentes de los jarabes tienen un rol principal en la influencia de la temperatura de transición vítrea en sistemas de alimentos (Ahmed et al., 2007).

Los productos almacenados por debajo de su Tg son estables durante largos intervalos de tiempo siempre que se evite la absorción de humedad. Los productos con valores de Tg más cercanos a la temperatura ambiente son menos estables, ya que pequeños cambios en la temperatura de almacenamiento o en el contenido de humedad pueden hacer que el producto pierda sus características deseables (Nowakowski y Hartel, 2002).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar las propiedades reológicas, texturales, térmicas y fisicoquímicas de jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis (100, 88 y 50%) comparándolas con jarabes de maíz comerciales, mediante técnicas estandarizadas para la obtención de parámetros que describan su comportamiento, apoyando a su posible aplicación en la industria.

Objetivos particulares

1. Determinar la viscosidad (25 y 35 °C) y las propiedades adhesivas (10, 15, 25, 30 y 40 °C) de los jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis (100, 88 y 50%) y de tres jarabes comerciales de maíz mediante cizalla rotacional y prueba de penetración y retirada respectivamente, para su comparación y así tener un valor de referencia de dichas propiedades que indique su posible aplicación en la industria.
2. Determinar las propiedades térmicas (temperatura de transición vítrea y temperatura de fusión) y fisicoquímicas (pH, °Brix, actividad acuosa, color, humedad y densidad) de los jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis (100, 88 y 50%) y de tres jarabes comerciales de maíz mediante pruebas estandarizadas para su comparación y su posible aplicación en la industria.

2.2 Materiales

Se analizaron tres diferentes jarabes de agave orgánico y tres jarabes de maíz. Jarabe de agave 100% hidrolizado (JOA100), lote OAS1902174, jarabe de agave parcialmente hidrolizado 50% fructanos (JOA50) lote OAS180217P y jarabe de agave parcialmente hidrolizado 12% fructanos (JOA88) lote OAS200217P los cuales fueron obtenidos de la empresa Mielles Campos Azules S.A. de C.V. Los jarabes de maíz estudiados son: Frudex 960 (JMIF), Glucosa 43 Globe (JMIG) código 2512 y sólidos de jarabe de glucosa fueron proporcionados por la empresa Ingredion México S.A de C.V. Finalmente miel Karo (JMMK) lote 7233F018 fue

obtenida de un mercado local. En el Cuadro 10 se resumen las especificaciones de los jarabes estudiados. Mientras que los jarabes de agave fueron obtenidos por medio de hidrólisis térmica, los jarabes de maíz fueron obtenidos por medio de mezclas e hidrólisis ácida, esto repercute directamente en la composición de cada uno. En los jarabes de agave el contenido de fructosa es aproximado a su grado de hidrólisis; JOA100 tiene el mayor contenido de glucosa y JOA50 tiene el mayor contenido de fructanos reportados como inulina que representa la parte de los fructanos que no fueron hidrolizados. JMIK tiene el mayor contenido de sacarosa mientras que JMIG y JMMK tienen un mayor contenido en otros carbohidratos.

Cuadro 10. Especificaciones de los jarabes (Composición en base seca).

	JOA100*	JOA50*	JOA88*	JMIF**	JMIG**	JMMK**	Sólidos de jarabe de glucosa 36
Fructosa (%)	92.6	47.10	87.6	12.4	0.1	4.1	0
Glucosa (%)	5.50	1.60	0.30	20.9	23	28.3	14.3
Sucralosa (%)	0.90	0.10	-	-	-	-	-
Inulina (%)	0.80	50.90	12	-	-	-	-
Sacarosa (%)	-	-	-	50.7	17.2	14.6	15.5
Manitol (%)	-	-	-	-	-	0.7	-
Otros (%)	0.20	0.30	0.1	16.0	59.7	52.3	70.2
Obtención	Hidrólisis Térmica	Hidrólisis Térmica	Hidrólisis Térmica	Mezcla de sacáridos naturales	Hidrólisis Acida	-	Mezcla de dextrosa, maltosa, oligo y polisacáridos obtenidos por hidrólisis enzimática parcial del almidón de maíz
Equivalente de dextrosa (DE)	-	-	-	38 – 42	39 – 42	-	34 – 39
Densidad (°Be)	-	-	-	-	42.5 – 43.5	-	-
°Brix	74.6	73.5	74	79.5 – 80.5	-	-	-

Fichas técnicas* y determinación de carbohidratos por HPLC acopladas a I.R** (Mieles Campos Azules S.A. de C.V).

2.3 Métodos

2.3.1 Determinación de propiedades fisicoquímicas

pH

La determinación del pH se llevó a cabo en un potenciómetro Bench 700 (Eutech Instruments, USA), se diluyeron 10 g de muestra en 75 mL de agua purificada ajustada a pH 7 y se tomaron alícuotas de 25 mL para su medición a una temperatura de 24 °C (Mellado-Mojica y López-Pérez, 2013). Este procedimiento se basa en el principio de medición de diferencia de potencial entre un electrodo patrón y uno de vidrio donde las membranas de vidrio del electrodo corresponden a la actividad del ion hidrógeno desarrollando un potencial eléctrico en la interfase vidrio-liquido. A temperatura constante este potencial varía linealmente con el pH de la solución que está siendo medida. El cambio del potencial por unidad de pH se conoce como la pendiente del electrodo. El potencial real observado será la suma de los potenciales separados del electrodo de referencia, la referencia interna y el potencial desarrollado en ambas superficies de la membrana de vidrio. Puesto que los potenciales dentro del electrodo de pH son fijados por la solución de llenado y el potencial del electrodo de referencia es constante, cualquier cambio en el potencial del sistema a una determinada temperatura será debido a los cambios en el pH del sistema (Manual de instrucciones pH700, 2010).

Actividad de agua

Para la determinación de actividad de agua se utilizó en equipo AquaLab Pre (Decagon, USA), el cual se basa en la técnica del punto de rocío, donde la muestra se equilibra con el espacio superior de una cámara sellada que contiene un espejo y un medio para detectar la condensación en el espejo. En el equilibrio, la humedad relativa del aire en la cámara es la misma que la actividad de agua de la muestra. La temperatura del espejo es controlada con precisión por un enfriador termoeléctrico (Peltier). La detección del punto exacto en el que la primera condensación aparece en el espejo se observa con una célula fotoeléctrica. El haz de luz se dirige hacia el espejo y se refleja en una celda fotoeléctrica. El fotodetector detecta el cambio en la reflectancia cuando se produce condensación en el espejo.

Un termopar conectado al espejo registra entonces la temperatura a la que la condensación ocurre (Meter Group, Inc., 2017). Las determinaciones se llevaron a cabo a temperatura ambiente.

°Brix e Índice de refracción

Para la determinación de °Brix y el índice de refracción se utilizó un refractómetro digital 300034 (Sper Scientific, USA) a una temperatura de 24 °C, el cual funciona según el principio en el que a medida que aumenta la concentración o densidad de una solución, su índice de refracción cambia proporcionalmente. Cuanto mayor sea la concentración de sustancias disueltas en la solución, mayor será la lectura (Manual de instrucción refractómetro digital 300034). El índice de refracción puede ser definido como la relación entre la velocidad de una luz monocromática en el aire y su velocidad en la sustancia considerada y es la división entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción cuando la luz pasa del aire a la sustancia (Alvarado y Aguilera, 2001). Las determinaciones se llevaron a cabo a temperatura ambiente.

Humedad

El contenido de humedad fue determinado con una termobalanza MB45 (OHAUS, USA) a una temperatura de 100 °C, bajo el criterio de finalización A90 que está basado en la pérdida de peso por unidad de tiempo, en el cual la pérdida de peso es menor de 1 mg cada 90 s, para la realización de la prueba se colocaron 2 g de muestra en un cojín de asbesto esparciendo la muestra lo más homogéneo posible. El equipo funciona sobre la base del principio termo gravimétrico. Al comienzo de la medida, el analizador de humedad determina el peso de la muestra, a continuación, la muestra se calienta rápidamente por medio de la unidad halógena desecadora y la humedad se evapora. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la muestra y presenta el resultado. Cuando la desecación termina, el resultado se muestra como porcentaje de contenido de humedad, porcentaje sólido, peso o porcentaje de tolerancia de humedad (Ohaus Corporation, 2001).

Grados Baumé

Para la medición de grados Baumé ($^{\circ}\text{Be}$) se utilizó un aerómetro (0 a 75 $^{\circ}\text{Be}$), el cual se basa en el principio de Arquímedes el mismo que los densímetros. Al sumergir el densímetro en un líquido flotan, cumpliéndose que el peso del volumen de líquido desalojado es igual al peso de todo el aparato; por tanto, se hundirán más o menos según sea la densidad del líquido, en el aerómetro lo que se mide directamente es la concentración de las disoluciones en $^{\circ}\text{Baume}$ (Ibérica, 2003). Se enfrió la muestra hasta 15 $^{\circ}\text{C}$, se vació en una probeta de 250 mL, se dejó caer el aerómetro dentro de la probeta y se esperaron 10 minutos para tomar la medición (NMX-V-024-1972). No se realizaron replicas por la disponibilidad de muestras.

Color

Para la determinación de color se utilizó un colorímetro CR-300 (Konica Minolta, USA), que se basa en el principio de la reflexión de la luz, utiliza iluminación difusa y un ángulo de visión de 0 $^{\circ}$ para mediciones precisas (Minolta Co., 1991). Para la determinación de color en los jarabes se vació la muestra en la celda especial para líquidos hasta la marca de ésta, se colocó en el colorímetro y se tomó la medición.

2.3.2 Determinación del comportamiento al flujo

La caracterización reológica de los jarabes se realizó en un reómetro rotacional de cilindros concéntricos Rheolab QC (Anton Paar, Austria) con sistema Peltier para control de la temperatura. El instrumento transfiere la cantidad de movimiento desde el cilindro que rota hacia la pared del cilindro que contiene la muestra. Se mide el par de torsión o torque del motor, requerido para mover el cilindro y se transforma a esfuerzo de cizalla por una constante. La velocidad de rotación se transforma en velocidad de cizalla con la constante de proporcionalidad respectiva, que también depende de las dimensiones del cilindro que rota y el cilindro que contiene la muestra utilizados, primero se realizó una prueba con un material de referencia, posteriormente se llevaron a cabo las pruebas (Martínez-Padilla, 2015).

Previo a la medición se vaciaron 30 mL de muestra en un vaso de precipitado de 100 mL, se cubrió con una película de plástico y se colocó en baño María a 40 °C por 15 minutos. Se utilizó un cilindro CC27 (diámetro 27 mm, volumen 19 mL), el cual se llenó con la muestra hasta la marca correspondiente del dispositivo, y la prueba se realizó en tres etapas: en la primera etapa se llevó a cabo la prueba a 35 °C, en un ciclo de ascenso-descenso en el intervalo de 250 a 50 1/s, posteriormente en el instrumento se esperaron 10 minutos, tiempo en el que la temperatura de la muestra disminuyó hasta 25 °C y por último se llevó a cabo la prueba en un ciclo de ascenso-descenso en el intervalo de 10 a 120 1/s. Para el jarabe JMIG se modificó la velocidad de cizalla debido a sus altos valores de viscosidad por lo que la prueba se llevó a cabo a en un ciclo de ascenso-descenso en el intervalo de 1 a 20 1/s a 35 °C y en un ciclo de ascenso-descenso en el intervalo 1 a 10 1/s a 25 °C. Se llevaron a cabo tres repeticiones para cada muestra a cada temperatura.

Se graficaron el esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla y se determinó la viscosidad a través de la pendiente de la curva de esfuerzo de cizalla en función a la velocidad de cizalla.

2.3.3 Determinación de propiedades adhesivas

Para la prueba de adhesividad por penetración y retirada en los jarabes se utilizó un texturometro TA-XT2i (Stable Micro System, Inglaterra), el cual opera en modo de compresión (si se controla la fuerza mide la distancia y si se controla la distancia de compresión mide la fuerza); y un cilindro de acrílico de 1 in (2.54 cm), las condiciones de prueba para los jarabes de agave, JMIF y JMMK fueron: velocidad de acercamiento y ensayo 2 mm/s, velocidad de retirada 10 mm/s, distancia de retirada 85 mm, con una celda de carga de 5 kg, una fuerza de contacto de 5 g y una distancia de penetración de 6 mm. Para el jarabe JMIG la velocidad de acercamiento fue de 8 mm/s y la distancia de retirada fue de 150 mm. La prueba se llevó a cabo a diferentes temperaturas (10, 15, 25, 30 y 40 °C). Para el acondicionamiento se vaciaron 30 mL de muestra en un vaso de precipitado de 100

mL, se cubrió con plástico film y se colocó a baño María a la temperatura de prueba. Las muestras se mantuvieron 5 minutos en el baño para posteriormente vaciarla en la caja de aluminio (diámetro 49 mm, altura 15.04 mm, volumen 22.5 mL) que se colocó en un recipiente de acero inoxidable con chaqueta para recirculación de agua (Figura 7) a la temperatura de prueba, finalmente se esperaron 3 minutos más. Se realizaron 3 repeticiones a cada temperatura.



Figura 7.- Recipiente con chaqueta de recirculación de agua.

El resultado de cada prueba fue un gráfico de fuerza en función del tiempo (Figura 8), a partir del cual se identificaron pendientes y se determinaron valores de área bajo la curva para obtener parámetros como trabajo de penetración y firmeza. A partir de los cuales se pueden determinar otros parámetros (Chacón-Villalobos et al., 2013).

- ❖ La firmeza se define como la fuerza máxima durante la penetración, es decir es el pico más alto de la curva (F_m).
- ❖ El trabajo de penetración se define como el área bajo la curva hasta la fuerza máxima de penetración (A_p).

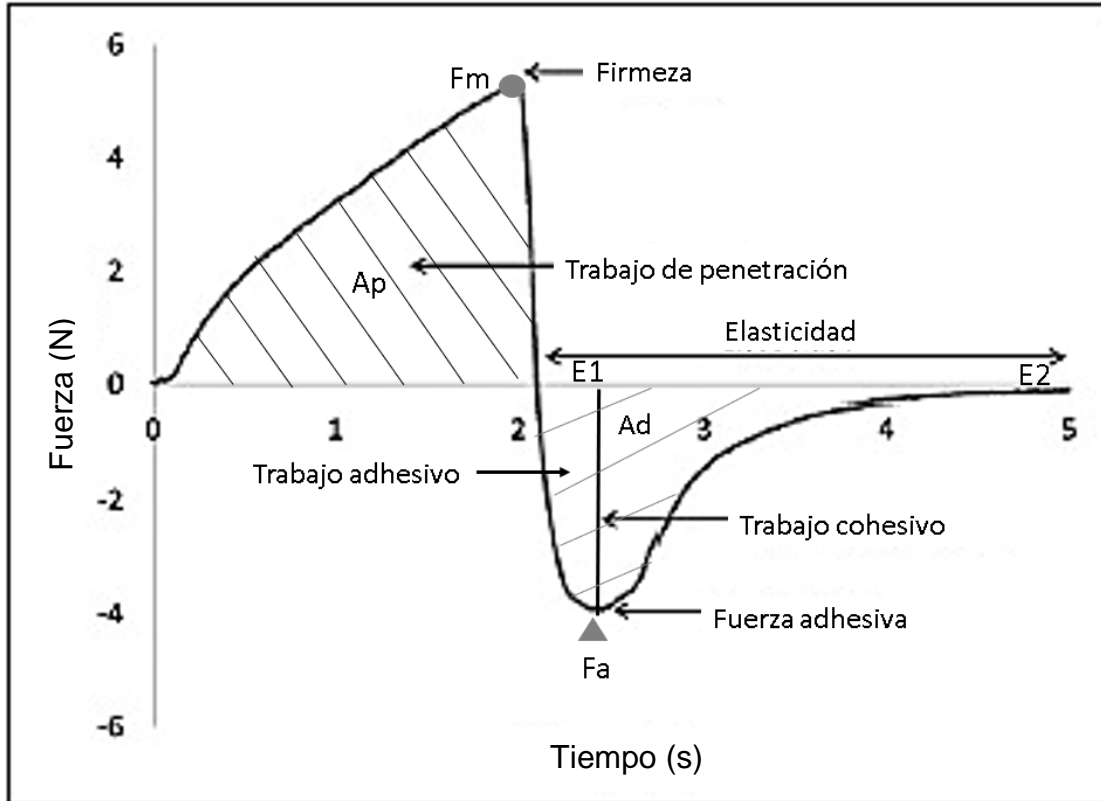


Figura 8.- Curva de adhesividad.

- ❖ El estiramiento se define como la distancia entre el inicio de la curva de retirada (E1) y el momento en que la fuerza cae a cero o a un valor constante (E2).
- ❖ Trabajo cohesivo: se define como el área bajo la curva antes de la fuerza máxima de retirada.
- ❖ Trabajo adhesivo: se define como el área bajo la curva después de la fuerza máxima de retirada.
- ❖ La adhesividad se define como la suma del trabajo cohesivo y adhesivo, representa el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (Ad).

- ❖ La fuerza adhesiva es la fuerza máxima durante la retirada del dispositivo (Fa).
- ❖ La untabilidad se define como el estiramiento (E) entre la fuerza adhesiva (Fa).

$$\text{Untabilidad} = E / Fa \quad (4)$$

2.3.4 Determinación de propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea

La determinación del punto de fusión y la temperatura de transición vítrea se llevó a cabo en el Calorímetro Q20 con sistema de refrigeración y enfriamiento (TA Instruments, USA). Se pesaron de 6 a 8 mg de muestra en las cajas de aluminio y se cerraron herméticamente. Se utilizó como referencia una caja de aluminio vacía sellada. Al inicio de la prueba la muestra se calentó hasta 50 °C, posteriormente se sometió a una rampa de temperatura de 50 a -30 °C a una velocidad de 5 °C/min y después a una rampa de -35 a 260 °C a la misma velocidad. Se obtuvieron gráficos llamados termogramas (Figura 9) a partir de los cuales es posible identificar la fusión (Tc) y temperatura de transición vítrea (Tg).

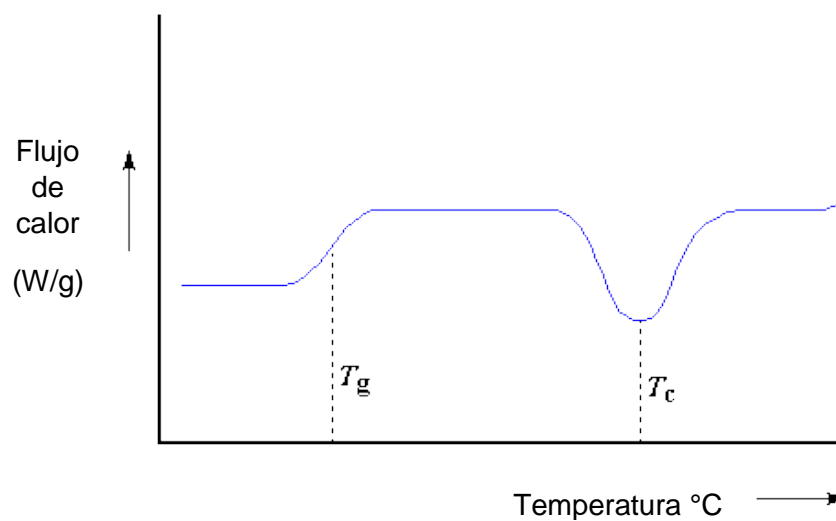


Figura 9.- Termograma temperatura de transición vítrea (Tg) y de fusión (Tc).

Las pruebas se realizaron por triplicado para todas las propiedades a excepción de la prueba de °Baume y Tg debido a la disponibilidad de las muestras. Se determinó promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, se realizó además un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor con la finalidad de conocer las diferencias significativas entre los jarabes.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Propiedades fisicoquímicas

Los resultados de humedad, aw, pH, °Brix e Índice de refracción para todos los jarabes son mostrados en el Cuadro 11. Los jarabes de agave y la muestra JMMK presentaron los valores más altos de humedad, por lo que no se encontró diferencia significativa entre estos a excepción del JOA50 con el valor más alto, mientras que el jarabe JMIG y JMIF mostraron tener los valores más bajos de 12.15 y 16.14% respectivamente.

Cuadro 11. Humedad, aw, pH, °Brix e Índice de refracción de los jarabes de agave y maíz.

			Humedad (%)	aw	pH	°Brix	Índice de refracción
Jarabes de agave	JOA100	\bar{x}	21.61 ^b	0.65 ^e	5.74 ^b	75.3 ^c	1.47 ^c
		±	0.51	0.01	0.04	0.11	0.0002
		C.V. (%)	2.3	1.6	0.8	0.1	0.01
	JOA88	\bar{x}	23.1 ^b	0.70 ^c	6.35 ^a	74.3 ^d	1.47 ^d
		±	0.88	0	0.03	0.15	0.0002
		C.V. (%)	3.8	0	0.5	0.2	0.01
	JOA50	\bar{x}	26.84 ^a	0.82 ^a	5.76 ^b	70.6 ^e	1.46 ^e
		±	1.02	0.001	0.04	0	0.0001
		C.V. (%)	3.8	0.1	0.7	0	0.003
Jarabes de maíz	JMIF	\bar{x}	16.14 ^c	0.69 ^d	6.40 ^a	80.4 ^b	1.49 ^b
		±	0.73	0.001	0.01	0.61	0.001
		C.V. (%)	4.5	0.2	0.2	0.7	0.1
	JMIG	\bar{x}	12.15 ^d	0.73 ^b	5.78 ^b	83.9 ^a	1.50 ^a
		±	1.24	0.001	0.15	0.15	0.0007
		C.V. (%)	10.3	0.1	2.7	0.2	0.04
	JMMK	\bar{x}	22.62 ^b	0.82 ^a	6.45 ^a	75.2 ^c	1.47 ^c
		±	0.48	0.0006	0.02	0.05	0.0003
		C.V. (%)	2.1	0.1	0.4	0.1	0.02

Las letras corresponden al análisis estadístico ANOVA. Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Los valores de humedad para los jarabes de agave están dentro del intervalo reportado por Mellado-Mojica y López-Pérez (2013).

En la actividad de agua (a_w) se presentaron valores más dispersos, sin embargo, no hay diferencia significativa entre JOA50 y JMMK con valores de 0.82, mientras que JOA100 presentó el valor más bajo.

Los valores de pH se encuentran en un intervalo de 5.74 y 6.45, mostrando ser más ácidos los jarabes de agave; no se encontró diferencia significativa entre los valores de JOA100, JOA50 y JMIG, mientras que entre JOA88, JMIF y JMMK también se tuvieron valores similares y estadísticamente no hay diferencia significativa entre ellos. Los valores de pH reportados en este estudio para los jarabes de agave están en un intervalo de 5.74 a 6.35 y el pH para los jarabes de maíz se encontró en un intervalo de 5.78 a 6.45 los cuales son mayores a los reportados por Mellado-Mojica y López-Pérez (2015) que van de 3.6 a 5.25 para los jarabes de agave y 3.36 a 5.26 para los jarabes de maíz, sin embargo, se encuentran dentro del intervalo de pH permitidos por la NMX F-169-1984 Alimentos para humanos. Jarabes.

En cuanto a los valores de °Brix y el índice de refracción, no hay diferencia significativa entre JOA100 y JMMK, y en general los jarabes de maíz tuvieron los valores más altos de sólidos solubles, de acuerdo con la norma del Codex Stan 212-1999 (1999) el contenido de sólidos solubles para el jarabe de glucosa no debe ser menor de 70% de azúcares, por lo que todos los jarabes de este estudio cumplen con esta norma. Asimismo, los valores para los jarabes de agave están dentro del intervalo reportado por Mellado-Mojica y López-Pérez (2015), y los jarabes de maíz se encuentran entre los valores para mieles reportados por Ahmed et al. (2007).

Al realizar una comparación entre propiedades (Figura 10) se puede afirmar que los valores de pH y a_w no dependen del contenido de sólidos solubles.

La actividad de agua (a_w) no parece tener una relación clara con el contenido de sólidos solubles pues depende del tipo de jarabe. White (2014) reportó los siguientes valores de a_w : 0.634 para la fructosa, 0.892 para la glucosa y 0.844 para la sacarosa. Los jarabes JOA100 y JOA88 contienen alto contenido de fructosa (92.6 y 87.6% b.s respectivamente) y contenido de sólidos solubles totales similares y a_w entre 0.655 y 0.7 valores cercanos al de fructosa.

No se encontró diferencia significativa entre JOA50 y JMMK y sus valores de sólidos solubles también son similares (70.6 y 75.2 b.s respectivamente). Los jarabes de maíz tienen una composición más compleja ya que el jarabe JMIF tienen un 50% b.s de sacarosa y 16% b.s de otros componentes y el jarabe JMIG tienen más del 50% de su composición en otros azúcares (59.7% b.s), que pueden ser maltodextrinas y en gran medida influyen en el valor de la a_w .

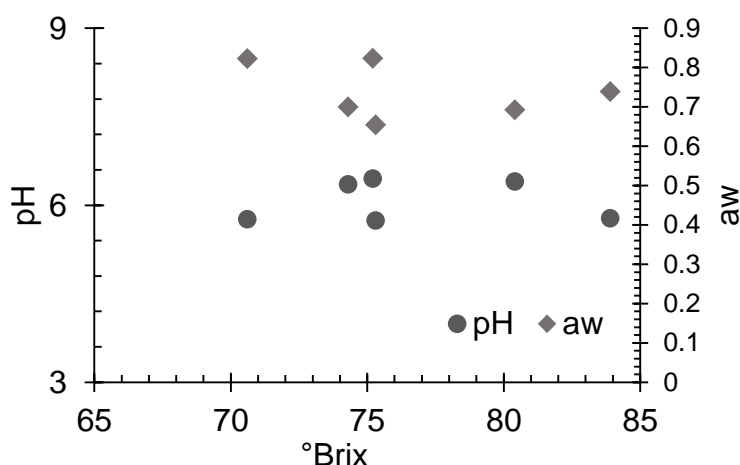


Figura 10. pH y a_w en función a °Brix

De acuerdo con el intervalo de a_w (0.65 a 0.86), los jarabes se encuentran dentro de los alimentos de humedad intermedia, éstos tienen una larga vida de anaquel y no necesitan de rehidratación o de enfriamiento para conservarse (Badui, 2006).

Para su crecimiento, los microorganismos necesitan condiciones propicias de pH, de nutrimentos, de oxígeno, de presión, de temperatura y de actividad del agua por lo que los jarabes al tener valores relativamente bajos de pH y a_w , son menos susceptibles al desarrollo de estos aumentando su calidad (Badui, 2006).

Por otra parte, la humedad presenta una relación directamente proporcional con el contenido de sólidos solubles (Figura 11), y con una correlación alta (0.9958), por lo tanto, a mayor contenido de sólidos solubles, menor es la humedad, por lo que es posible considerar que los jarabes solamente están compuestos de azúcares y agua. Es por esto por lo que una práctica común en jarabes y sobre todo en mieles es la determinación de la humedad por medio de la concentración de sólidos y en la actualidad existen tablas de equivalencia del índice de refracción y contenido de humedad como la descrita en: *United States Standards for Grades of Extracted Honey* o la tabla de equivalencia: Moisture in Honey. 969.38 de la AOAC (2000).

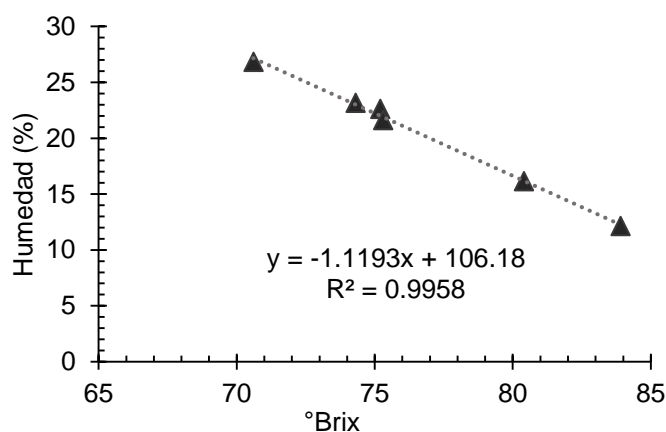


Figura 11. Humedad en función de °Brix.

El índice de refracción se presentó un comportamiento directamente proporcional al contenido de sólidos solubles de tal forma que, a mayor contenido de sólidos solubles, mayor es el índice de refracción (Figura 12) debido a que a un mayor contenido de sólidos es menor la velocidad con la que la luz lo atraviesa (Hart, 1991).

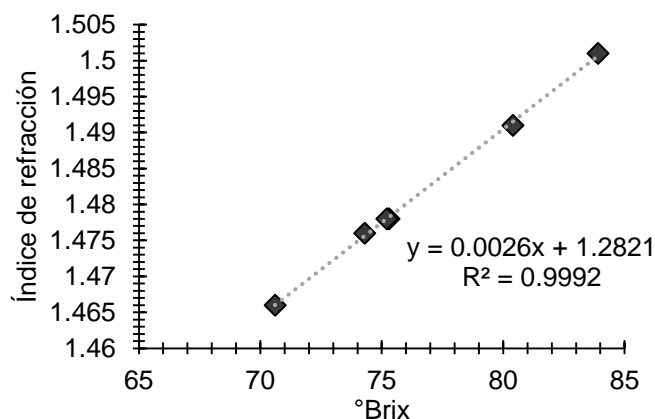


Figura 12. Índice de refracción en función a °Brix.

De acuerdo con su grado de hidrólisis los jarabes de agave tienen diferente composición, lo que repercute en sus propiedades, por lo que los tres jarabes JOA100, JOA88 y JOA50 tuvieron valores significativamente diferentes de aw, °Brix e índice de refracción.

Se evaluó el color de los jarabes dando como resultado que los valores más altos de luminosidad (L) corresponden a los jarabes de maíz, todos los jarabes mostraron un color verdoso (a -) y amarillento (b+) como se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12.- Coordenadas L, a y b de color y densidad.

			Color			Densidad	
			L	a	b	°Baume	(kg/m ³)*
Jarabes de agave	JOA100	\bar{x}	90.26 ^a	-3.39 ^a	59.08 ^a	41	1393.13
		±	0.01	0.01	0.01		
		C.V. (%)	0.017	0.45	0.02		
	JOA88	\bar{x}	98.89 ^d	-2.77 ^d	12.39 ^d	40	1379.7
		±	0.006	0.006	0.006		
		C.V. (%)	0.006	0.2	0.004		
	JOA50	\bar{x}	99.26 ^b	-1.27 ^b	7.06 ^b	38	1353.7
		±	0.04	0.01	0.01		
		C.V. (%)	0.04	0.78	0.21		
Jarabes de Maíz	JMIF	\bar{x}	100.32 ^c	-1.84 ^c	7.11 ^c	43	1420.33
		±	0.01	0.01	0.006		
		C.V. (%)	0.01	0.62	0.08		
	JMMK	\bar{x}	101.21 ^e	-0.80 ^e	2.94 ^e	40	1379.7
		±	0.025	0.01	0.01		
		C.V. (%)	0.02	1.89	0.34		
	JMIG	NA	NA	NA	NA	NA	NA

*La densidad fue calculada con base en °Be. Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

El jarabe de agave JOA100 presentó una coloración más oscura y amarilla caracterizada por L más baja y la b más alta; la acidez y las altas temperaturas utilizadas durante la extracción, hidrólisis y concentración fueron las responsables de la mayor pigmentación en el jarabe de agave; derivados de las reacciones de Maillard (Montañez et al., 2011). Mientras que los jarabes de maíz presentaron colores más claros caracterizados por valores de L más altos. El jarabe JMMK fue el más claro debido a que tuvo el valor más alto de L (101.21), a (0.807) y el valor más bajo de b (2.940) y todos tuvieron colores significativamente diferentes, en general los jarabes de agave presentaron coloraciones más amarillas que los de maíz debido a los valores altos de b. Esto muestra que tan importante es la refinación del producto a través de tratamiento con carbón activado o columnas de intercambio iónico, donde se puede eliminar el color y obtenerse un jarabe transparente, aunque esto último dependerá de la aplicación eventual dada al jarabe (Hernández et al., 2008), además de que es posible añadir colorantes que se encuentren dentro de los límites permitidos. Los jarabes de agave con diferente grado de hidrólisis pueden ser identificados por su color; a mayor grado de hidrólisis la coloración del jarabe es más amarillenta y oscura. Existen escalas de color como la Pfund, sin embargo, se considera que ésta no es suficiente para caracterizar el color de la miel y jarabes, ya que solamente las separa en ámbar y sus tonalidades, mientras que el método CIEL*a*b* permite conocer tonalidades de color (González-López et al., 2018).

En cuanto a los °Be, el JOA88 y JMMK mostraron tener el mismo valor, el jarabe JMIF presentó el valor más alto mientras que JOA50 tuvo el valor más bajo. La densidad fue calculada con base en a los °Baume, por lo que sólo es una aproximación al valor real. Sin embargo, el valor de la densidad para JMMK coincide con el reportado por Hernández et al. (2008). Las propiedades físicas como la densidad de un jarabe dependen en gran medida de su perfil de carbohidratos, que, a su vez, está determinado por el tipo de conversión y la naturaleza del tratamiento (Hobbs, 2009), por lo que los jarabes de agave a diferente grado de hidrólisis presentaron diferentes densidades.

3.2 Comportamiento al flujo de los jarabes

Los jarabes mostraron un comportamiento newtoniano tal como reportaron Montañez et al. (2011) y Hernández et al. (2008). En la figura 13a y b se muestra la curva de viscosidad en función a la velocidad de cizalla de los jarabes de agave a 25 °C y 35 °C respectivamente, en ambas temperaturas el jarabe JOA50 tuvo la viscosidad más alta, seguida de JOA100 con los valores más cercanos y finalmente JOA88.

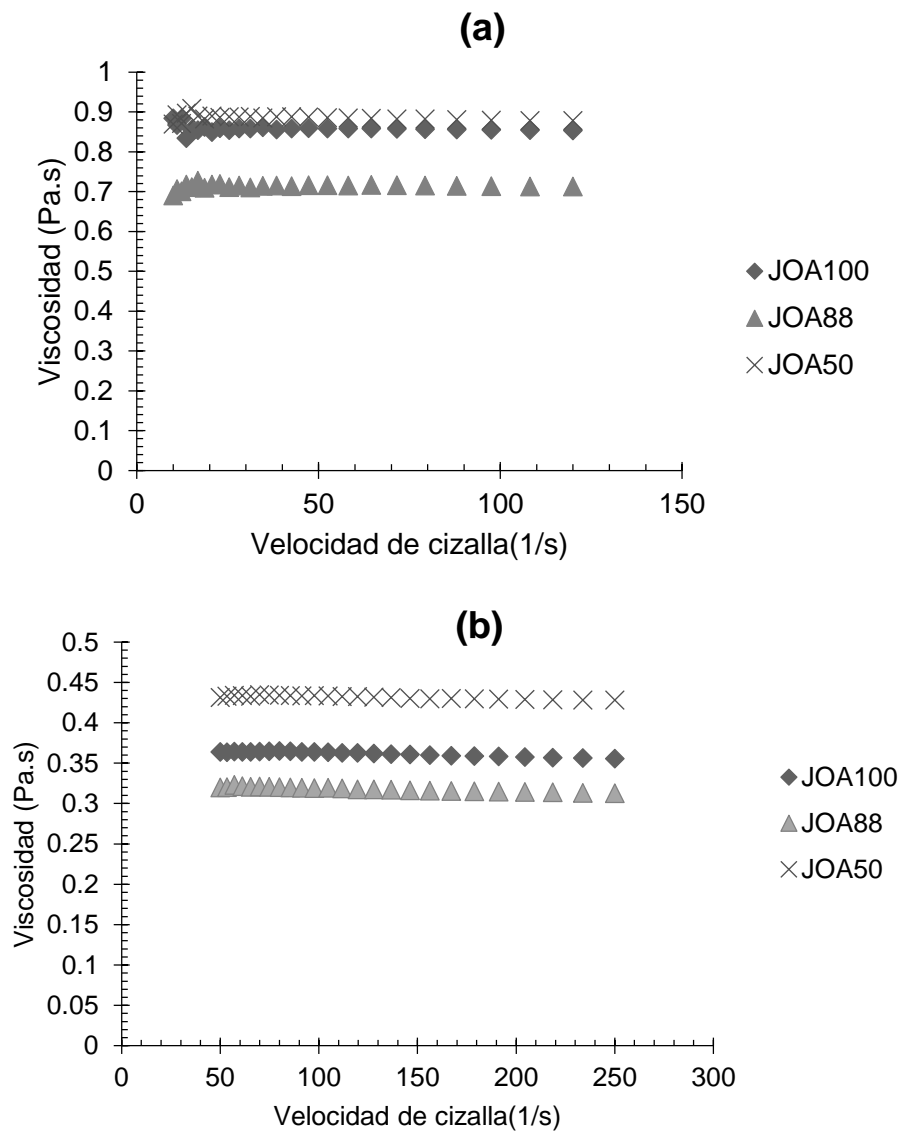


Figura 13. Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de agave JOA100, JOA88 y JOA50 a 25 °C (a) y 35 °C (b).

El jarabe JMMK tuvo la viscosidad más baja, seguida de JMIF y la viscosidad del jarabe JMIG fue considerablemente más alta que la de todos los demás jarabes a ambas temperaturas (Figura 14 y 15).

Tanto los jarabes de agave como los de maíz presentaron una disminución de la viscosidad con respecto al aumento de la temperatura.

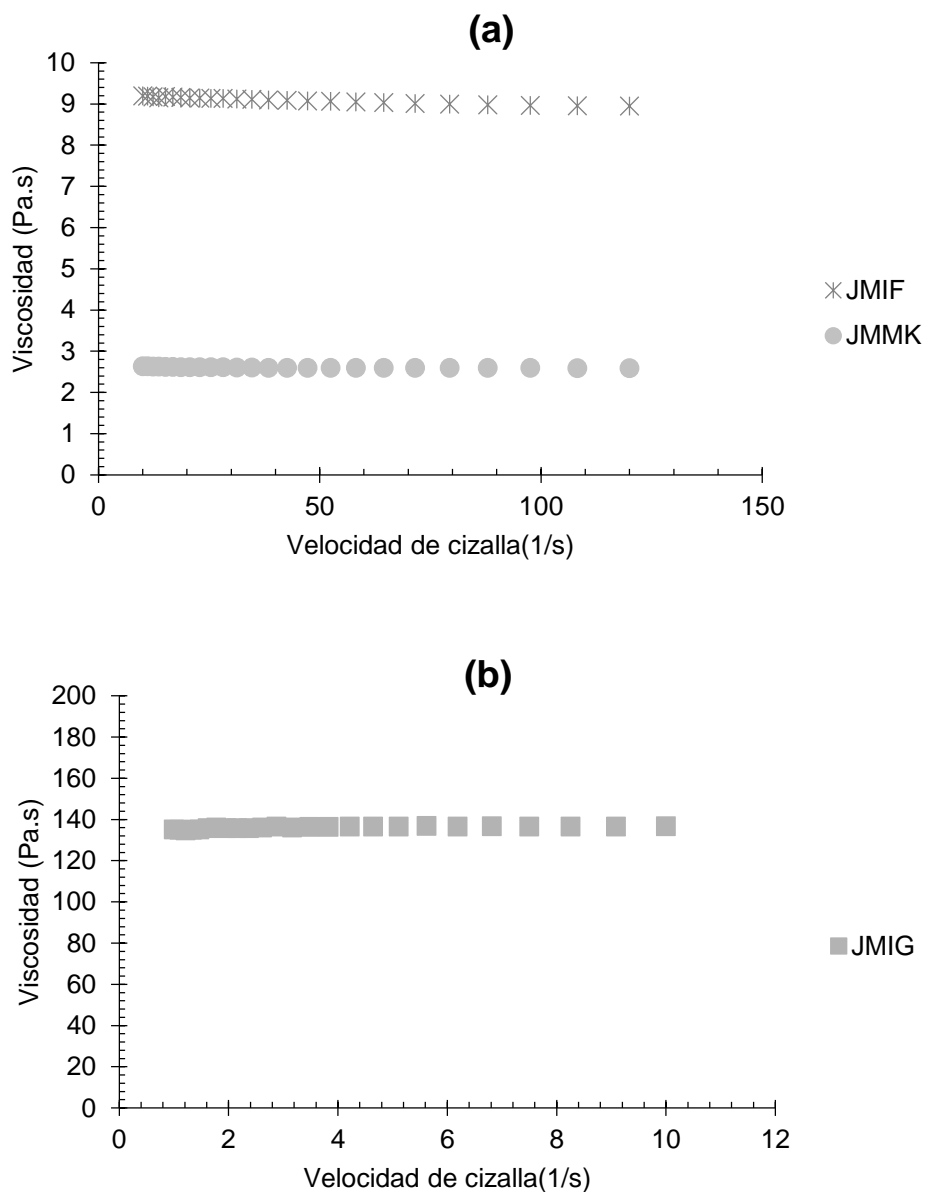


Figura 14. Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de maíz JMIF, JMMK (a) y JMIG (b) a 25 °C.

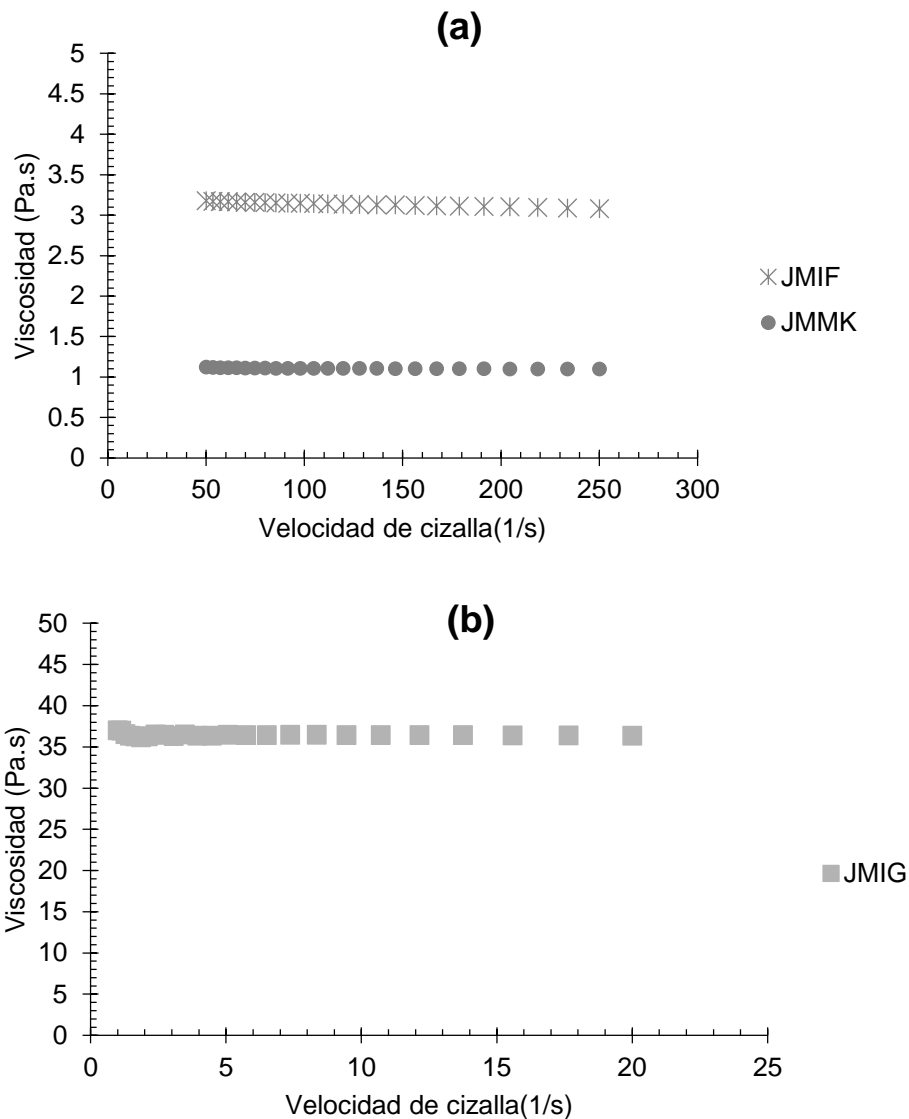


Figura 15. Viscosidad en función de la velocidad de cizalla de jarabes de maíz JMIF, JMMK (a) y JMIG(b) a 35 °C.

Al incrementarse la temperatura la viscosidad de los jarabes de agave disminuyó entre 40-50%, mientras que en los jarabes de maíz disminuyó un 30-40%. La viscosidad de una solución es una función de las fuerzas intermoleculares y las interacciones hidrolíticas que restringen el movimiento molecular. Cuando se calienta una solución, la viscosidad disminuye a medida que aumenta la energía cinética de las moléculas y las distancias intermoleculares aumentan debido a la expansión térmica (Constenla et al.,1989).

Los jarabes de agave a 25 °C tuvieron valores de viscosidad dentro de un intervalo de 0.70 a 0.85 Pa.s, mientras que a 35 °C la viscosidad se encontró en un intervalo de 0.30 a 0.42 Pa.s. Los valores de viscosidad para los jarabes de maíz fueron los más altos a ambas temperaturas. No hubo diferencia significativa entre los jarabes de agave y el jarabe JMMK a 25 °C en la viscosidad, mientras que a 35 °C no hubo diferencia entre los jarabes de agave, pero si entre los de maíz (Cuadro 13).

Cuadro 13.- Viscosidad de los jarabes de agave y maíz a 25 y 35 °C.

			25 °C η (Pa.s)	35 °C η (Pa.s)
Jarabes de agave	JOA100	\bar{x}	0.85 ^c	0.35 ^d
		\pm	0.004	0.002
		C.V. (%)	0.4	0.5
	JOA88	\bar{x}	0.70 ^c	0.30 ^d
		\pm	0.005	0.002
		C.V. (%)	0.7	0.57
	JOA50	\bar{x}	0.86 ^c	0.42 ^d
		\pm	0.01	0.007
		C.V. (%)	1.9	1.7
Jarabes de maíz	JMIF	\bar{x}	8.76 ^b	3.09 ^b
		\pm	0.38	0.05
		C.V. (%)	4.5	1.7
	JMMK	\bar{x}	2.57 ^c	1.08 ^c
		\pm	0.01	0.006
		C.V. (%)	0.6	0.6
	JMIG	\bar{x}	139.5 ^a	36.93 ^a
		\pm	2.28	0.49
		C.V. (%)	1.6	1.3

Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

La viscosidad depende del tipo y cantidad de carbohidrato presente en los jarabes; se ha demostrado (Montañez et al., 2011) que los jarabes de maíz con mayor contenido en glucosa y otros azúcares de mayor peso molecular como sacarosa y maltodextrinas dan como resultado jarabes con una viscosidad más alta. Es por ello que los jarabes de maíz presentaron mayor viscosidad que los de agave; y dentro de estos últimos JOA50 tuvo la viscosidad más alta. El jarabe de agave JOA100 presentó un valor de viscosidad más elevado en comparación con el jarabe JOA88, esto puede deberse a la diferencia en el contenido de monosacáridos que contiene cada jarabe (Hernández et al., 2008), posiblemente su alto contenido de glucosa (5.50% b.s.) sea el responsable del incremento de viscosidad, atribuido a la fuerte asociación de moléculas de glucosa en solución, a través de puentes de hidrógeno entre ellas y proporcionan un efecto de polímero altamente ramificado que aumenta la fuerza del jarabe para fluir libremente (Badui, 2006). Por lo que el grado de hidrólisis en los jarabes influye de manera considerable en la viscosidad.

Al realizar una comparación entre la viscosidad a 35 °C y los sólidos solubles totales (Figura 16), para los jarabes de agave parece no haber una tendencia muy clara, sin embargo, en los jarabes de maíz, es posible afirmar que a mayor contenido de sólidos solubles mayor viscosidad, por lo que, al tener el mayor contenido de sólidos solubles, el jarabe JMIG es el jarabe con la mayor viscosidad.

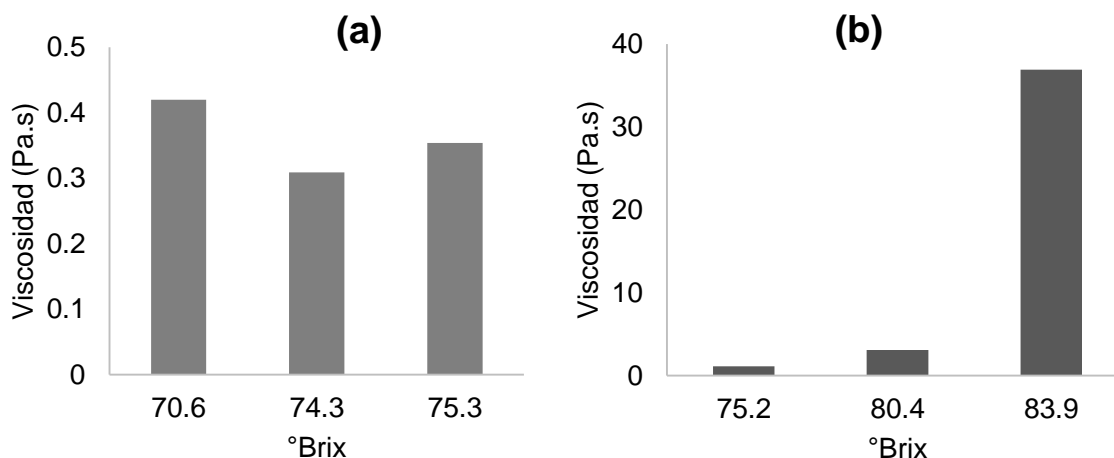


Figura 16.- Viscosidad de los jarabes de agave (a) y de maíz (b) a 35°C, en función a °Brix.

3.3 Propiedades adhesivas

Al finalizar la prueba de adhesividad por penetración y retirada se observó en el jarabe JMIG, que aun después de la separación del dispositivo, se quedaba formado un “hilo” de la misma muestra que finalmente se rompía como se presenta en la Figura 17, al contrario de este en los demás jarabes no presentaron el mismo comportamiento al final de la prueba (Figura 18).



Figura 17.- Prueba de adhesividad del jarabe JMIG



Figura 18.- Prueba de adhesividad del jarabe JOA88

En la Figura 19 se muestran las gráficas obtenidas de la prueba de adhesividad por penetración y retirada a 25 °C de los jarabes de agave y maíz. En la Figura 20 se muestran los jarabes de maíz, y se puede observar que el jarabe JMIG es el que presentó una mayor consistencia, así como mayor adhesividad, seguida del jarabe JMIF y finalmente JMMK. Posteriormente se muestran las gráficas obtenidas para dos jarabes a todas las temperaturas de prueba (10, 15, 25, 30 y 40 °C); para el jarabe JMIG es más fácil distinguir el cambio de consistencia con el cambio de temperatura, en comparación con el JOA100 (Figura 20). El estudio de la consistencia y adhesividad a diferentes temperaturas permitirá el poder darles aplicaciones más específicas de acuerdo con su comportamiento como potenciador de consistencia y sería útil en cuestiones de manejo y transporte.

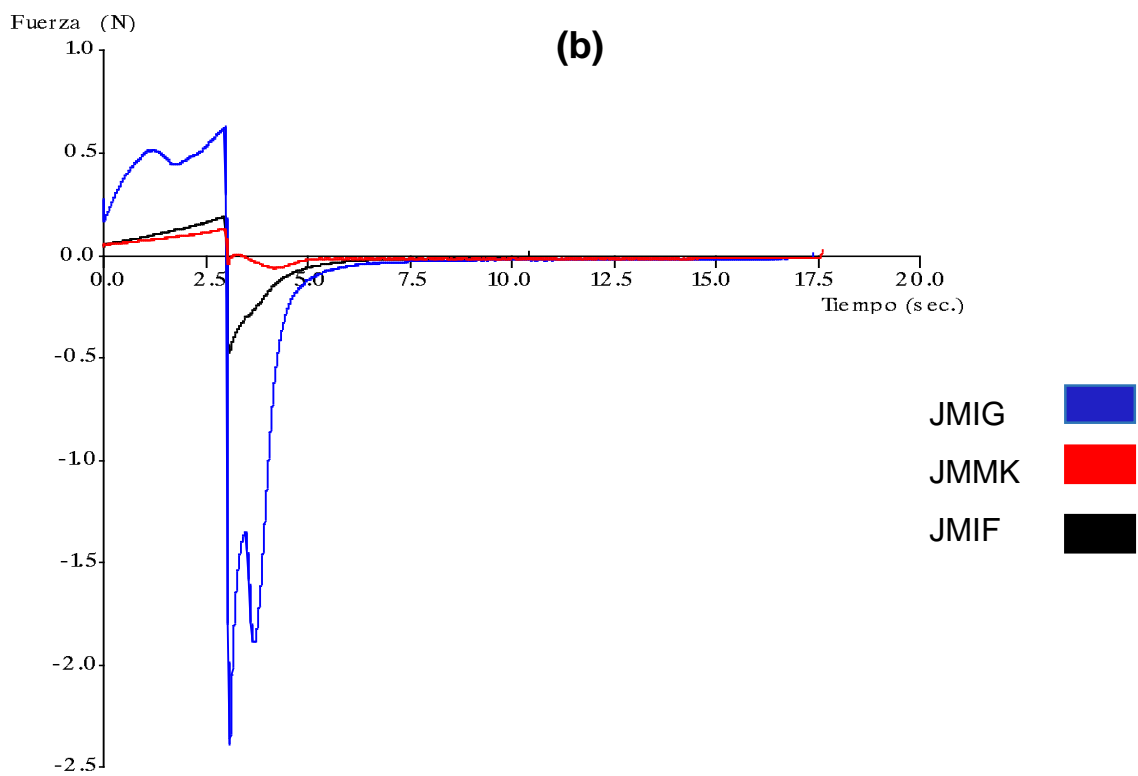
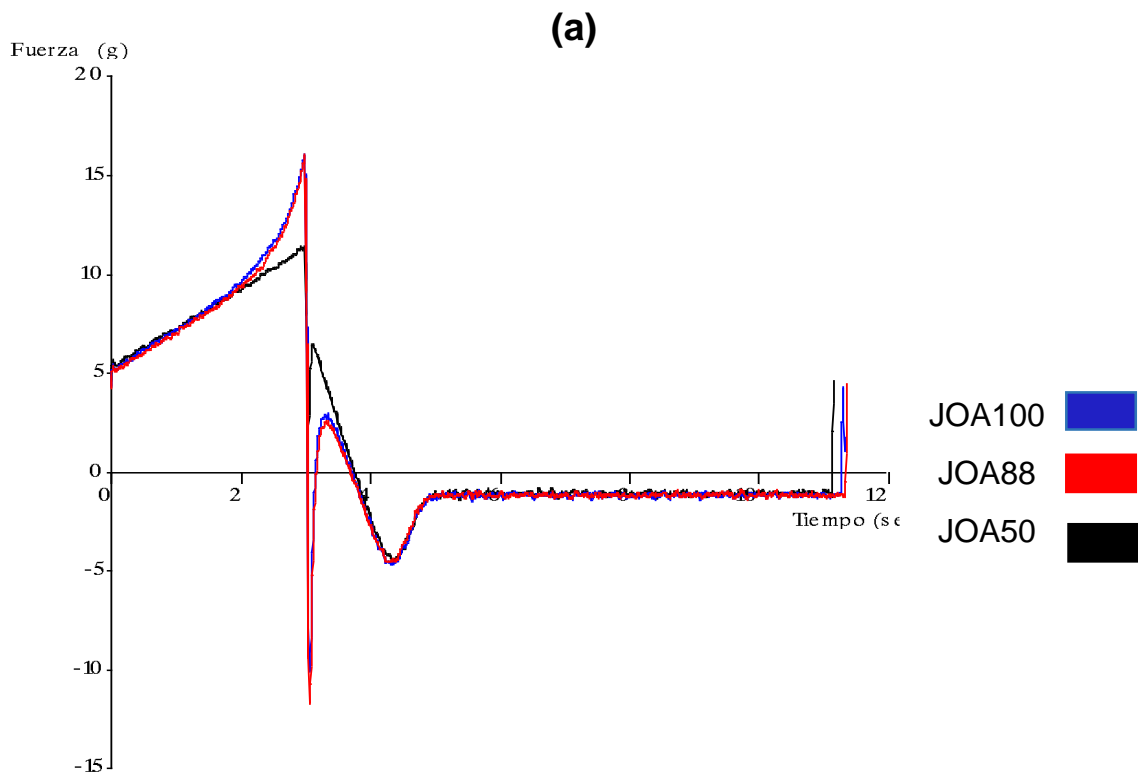


Figura 19. Consistencia de la prueba por penetración y retirada de los jarabes de agave (a) y jarabes de maíz (b) a 25 °C.

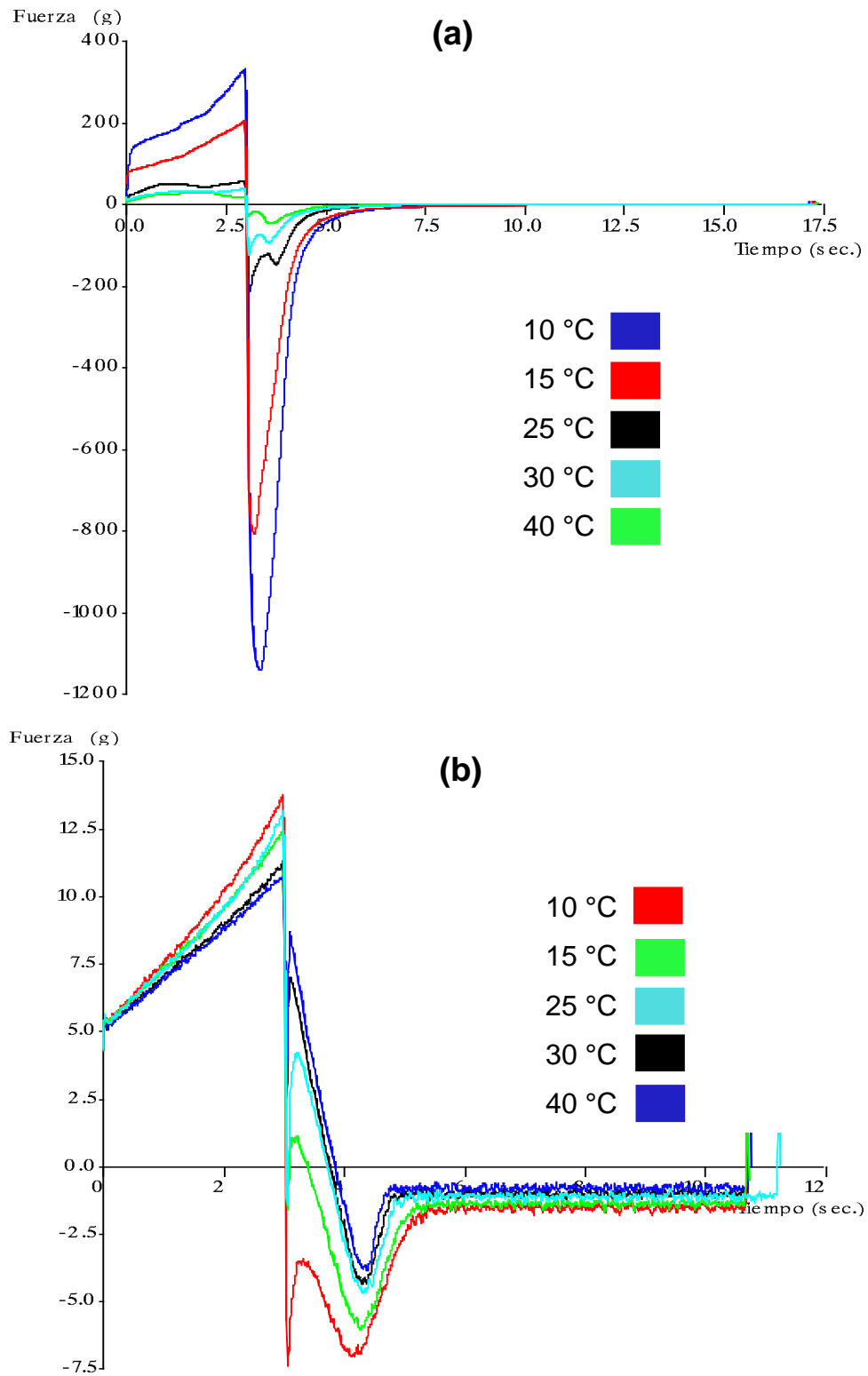


Figura 20. Fuerza en función del tiempo (prueba por penetración y retirada) para el jarabe JMIG (a) y JOA100 (b) a 10, 15, 25, 30 y 40 °C

En la Figura 20 se aprecia que hay un aumento de la fuerza adhesiva antes de la curva de adhesividad, esto se debe a el cambio de dirección del dispositivo al retirarse cuando la fuerza es muy baja. Esto no sucede cuando los materiales presentan más resistencia a la penetración y retirada.

A partir de los gráficos obtenidos a las diferentes temperaturas, se identificaron pendientes y se determinaron valores de área bajo la curva para obtener los siguientes parámetros: firmeza, trabajo de penetración, estiramiento y fuerza adhesiva. Posteriormente se calcularon la adhesividad y la untabilidad.

En el Cuadro 14, 15 y 16 se observa que los parámetros de los jarabes de agave son parecidos, mientras que en el Cuadro 17, 18 y 19 se presentan los parámetros de los jarabes de maíz, donde los valores varían más entre jarabes y los valores de JMIG son los más altos en comparación con todos los demás jarabes.

Cuadro 14. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA100 a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JOA100	10	\bar{x} 18.07 ^a	28.88 ^a	6.83 ^a	9.64 ^a	25.30 ^a	3.70 ^a
		\pm 3.65	1.69	0.44	1.27	2.86	0.24
		* 20.19	5.84	6.40	13.14	11.31	6.52
	15	\bar{x} 14.87 ^{ab}	26.77 ^{ab}	5.93 ^b	7.07 ^b	22.33 ^a	3.76 ^b
		\pm 3.43	1.69	0.18	0.35	2.79	0.35
		* 23.07	6.31	3.10	5.12	12.51	9.43
	25	\bar{x} 14.60 ^{ab}	26.09 ^{bc}	4.73 ^c	3.41 ^c	11.82 ^b	2.49 ^b
		\pm 1.45	0.37	0.10	0.06	0.06	0.08
		* 9.90	1.43	2.14	3.63	3.35	2.37
	30	\bar{x} 11.33 ^b	24.01 ^c	4.36 ^{cd}	3.20 ^c	14.50 ^{bc}	3.30 ^c
		\pm 0.85	0.67	0.24	0.69	0.02	0.71
		* 5.30	2.36	2.96	12.73	0.31	5.51
	40	\bar{x} 11.01 ^b	23.60 ^c	3.83 ^d	2.07 ^c	10.10 ^c	2.64 ^c
		\pm 0.26	0.16	0.09	0.03	0.00	0.06
		* 2.33	0.69	2.28	1.28	0.00	2.30

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 15. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA88 a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JOA88	10	\bar{x} 15.89 ^a	27.78 ^a	6.37 ^a	8.27 ^a	23.57 ^a	3.70 ^a
		± 0.50	0.47	0.03	0.27	0.49	0.09
		* 3.17	1.71	0.51	3.25	2.08	2.31
	15	\bar{x} 14.60 ^{ab}	26.68 ^a	5.72 ^b	6.34 ^b	20.93 ^a	3.66 ^a
		± 2.00	1.01	0.05	0.25	2.53	0.41
		* 13.70	3.79	0.81	3.86	12.09	11.28
	25	\bar{x} 12.08 ^b	24.86 ^b	4.55 ^b	3.43 ^c	13.15 ^b	2.89 ^a
		± 0.64	0.31	0.03	0.13	0.6	0.11
		* 5.30	1.26	0.67	3.89	4.56	3.91
	30	\bar{x} 12.61 ^b	24.83 ^b	4.17 ^b	2.67 ^d	11.78 ^{bc}	2.83 ^a
		± 1.10	0.23	0.11	0.15	0.74	0.11
		* 8.70	0.94	2.55	5.57	6.31	3.76
	40	\bar{x} 12.47 ^b	24.38 ^b	3.94 ^b	2.16 ^d	9.31 ^c	3.72 ^b
		± 0.82	0.28	0.09	0.19	1.13	4.32
		* 7.0	1.15	2.22	8.76	11.95	89.65

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 16. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JOA50 a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JOA50	10	\bar{x} 16.81 ^a	28 ^a	6.01 ^a	7.67 ^a	21.93 ^a	3.65 ^a
		± 2.54	1.38	0.07	0.08	0.72	0.15
		* 15.1	4.91	1.13	1.05	3.28	4.02
	15	\bar{x} 14.34 ^{ab}	26.41 ^{ab}	5.80 ^b	6.82 ^b	21.73 ^a	3.75 ^a
		± 0.48	0.37	0.07	0.52	0.88	0.11
		* 3.35	1.39	1.22	7.67	4.07	2.85
	25	\bar{x} 16.04 ^a	25.80 ^b	4.56 ^c	3.53 ^c	13.50 ^b	2.99 ^b
		± 4.42	1.07	0.05	0.06	0.2	0.16
		* 15.54	3.56	1.01	3.9	9.11	4.1
	30	\bar{x} 14.20 ^{ab}	25.87 ^{bc}	4.37 ^d	2.91 ^d	11.28 ^c	2.58 ^c
		± 2.02	1.07	0.01	0.04	0.32	0.07
		* 14.24	4.13	0.16	1.22	2.82	2.66
	40	\bar{x} 11.96 ^c	24.14 ^c	4.11 ^e	2.34 ^e	9.92 ^d	2.41 ^c
		± 0.38	0.4	0.05	0.05	0.42	0.08
		* 3.1	1.67	1.23	2.15	4.23	3.16

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 17. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMIF a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JMIF	10	\bar{x} 25.42 ^a	44.84 ^a	77.78 ^a	66.53 ^a	49.29 ^a	0.63 ^c
		\pm 0.85	2.0	3.78	8.84	1.61	0.01
		* 3.36	4.46	4.86	13.29	3.27	1.59
	15	\bar{x} 20.65 ^b	35.97 ^b	54.01 ^b	49.54 ^b	41.47 ^b	0.77 ^c
		\pm 1.12	1.27	5.0	1.24	2.39	0.11
		* 5.45	3.5	9.25	2.50	5.77	14.17
	25	\bar{x} 20.89 ^b	32.38 ^c	38.8 ^c	25.53 ^c	25.7 ^c	0.66 ^c
		\pm 0.37	0.24	1.69	1.00	2.09	0.06
		* 1.77	0.75	4.37	3.94	8.13	9.17
	30	\bar{x} 16.13 ^c	28.43 ^d	8.2 ^d	12.88 ^d	25.92 ^c	3.16 ^a
		\pm 0.85	0.67	0.24	0.71	1.15	0.04
		* 5.3	2.35	2.95	5.51	4.45	1.47
	40	\bar{x} 12.31 ^d	25.15 ^e	5.97 ^d	5.95 ^e	16.27 ^d	2.72 ^b
		\pm 0.49	0.65	0.04	0.47	1.73	0.27
		* 3.98	2.59	0.73	7.94	10.64	9.90

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 18. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMMK a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JMMK	10	\bar{x} 14.99 ^a	28.58 ^{ab}	18.91 ^a	23.36 ^a	35.57 ^a	1.92 ^c
		\pm 0.81	0.69	3.26	0.63	2.48	0.38
		* 5.44	2.43	17.28	2.7	6.99	19.9
	15	\bar{x} 16.18 ^a	28.77 ^a	21.53 ^a	19.62 ^b	30.27 ^b	1.43 ^c
		\pm 0.89	0.77	3.64	1.48	0.81	0.23
		* 5.51	2.67	16.94	7.59	2.69	16.27
	25	\bar{x} 12.94	25.84 ^{ab}	4.91 ^b	7.52 ^c	24.32 ^c	3.87 ^a
		\pm 0.45	0.57	2.52	0.4	0.8	0.41
		* 3.53	2.22	51.5	5.33	3.29	5.51
	30	\bar{x} 15.77 ^a	26.94 ^a	5.58 ^b	5.37 ^d	16.53 ^d	2.96 ^b
		\pm 1.50	0.81	0.07	0.13	0.43	0.09
		* 9.56	3.02	1.34	2.52	2.6	3.33
	40	\bar{x} 9.39 ^c	21.52 ^b	5.03 ^b	3.79 ^d	12.75 ^e	2.53 ^b
		\pm 0.98	2.15	0.22	0.51	1.14	0.12
		* 10.5	10.02	4.39	13.56	8.98	4.87

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 19. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de JMIG a diferente temperatura.

	Temperatura (°C)	Firmeza (g)	Trabajo de Penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
JMIG	10	\bar{x} 313.2 ^a	578.89 ^a	1069.71 ^a	958.61 ^a	47.78 ^a	0.04 ^b
		\pm 24.13	37.5	88.25	85.93	1.29	0.004
		* 7.7	6.4	8.25	8.96	2.7	9.03
	15	\bar{x} 197.9 ^b	370.1 ^b	790.4 ^b	640.2 ^b	44.4 ^a	0.06 ^b
		\pm 6.79	27.8	37.08	43.11	3.35	0.006
		* 3.43	7.51	4.69	6.73	7.56	11.11
	25	\bar{x} 62.32 ^c	140.5 ^c	232.75 ^c	212.64 ^c	45.18 ^a	0.2 ^b
		\pm 5.34	11.4	15.28	17.25	14.09	0.06
		* 8.57	8.11	6.56	8.11	31.2	4.53
	30	\bar{x} 33.73 ^{cd}	69.38 ^d	113.5 ^d	99.33 ^d	42.22 ^a	0.37 ^b
		\pm 3.15	13.31	13.12	13.67	4.9	0.01
		* 9.35	19.19	11.56	13.77	11.59	4.6
	40	\bar{x} 20.64 ^d	36.45 ^e	37.87 ^e	47.3 ^e	36.88 ^b	1.34 ^a
		\pm 5.77	6.28	11.65	15.5	15.53	0.57
		* 28.86	15.92	29.71	27.83	27.8	42.67

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

La firmeza de los jarabes de agave tiende a disminuir con la temperatura, sin embargo, para el JOA100 se puede observar que de 15 a 25 °C y de 30 a 40 °C, la firmeza parece constante y no hay diferencia significativa entre sus valores, para el JOA88 la firmeza disminuye con la temperatura y de 30 a 40 °C la firmeza aumenta y presenta un comportamiento constante, mientras que JOA50 no tiene un comportamiento definido (Figura 21a).

En el jarabe JMIF no hay diferencia significativa de los valores entre 15 y 25 °C, en JMMK los valores tienden a variar más como el caso del JOA50 y el jarabe JMIG presenta una tendencia muy clara a disminuir con la temperatura y tiende a ser constante a partir de los 30 °C (Figura 21b).

En general los valores de firmeza para los jarabes de agave fueron más bajos (18.07 a 11.01 g) en comparación con los jarabes de maíz (12.31 a 313.21 g) y el jarabe con la mayor firmeza fue el jarabe JMIG, ya que esta alcanzó valores de hasta 313.21 g a 10 °C, mientras que en los jarabes de agave el mayor valor de firmeza fue de 18.07 g en el JOA100.

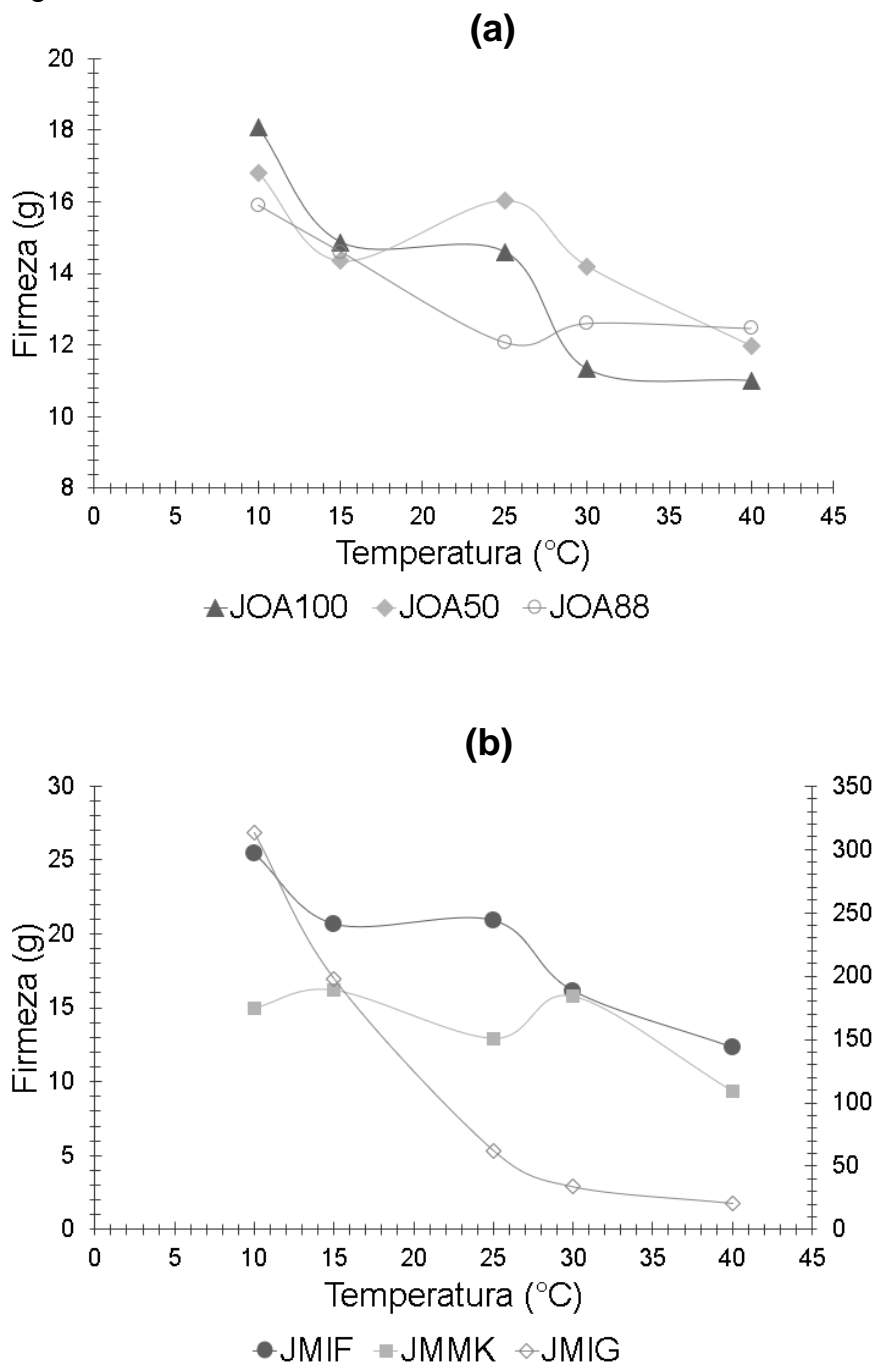


Figura 21. Firmeza de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

En el caso de los jarabes de agave (Figura 22a), en general tienden a disminuir con la temperatura, igual que los de maíz (Figura 22b) de tal modo que a mayor temperatura menor trabajo de penetración, es decir se requiere una menor fuerza para penetrar a los jarabes. Los tres jarabes de agave disminuyen de manera constante de 10 a 15 °C; el jarabe de maíz JMIG tuvo el valor más alto (578.89 g) y disminuyó hasta en un 90% en comparación con los demás jarabes, además todos los valores a las diferentes temperaturas de JMIF y JMIG fueron significativamente diferentes.

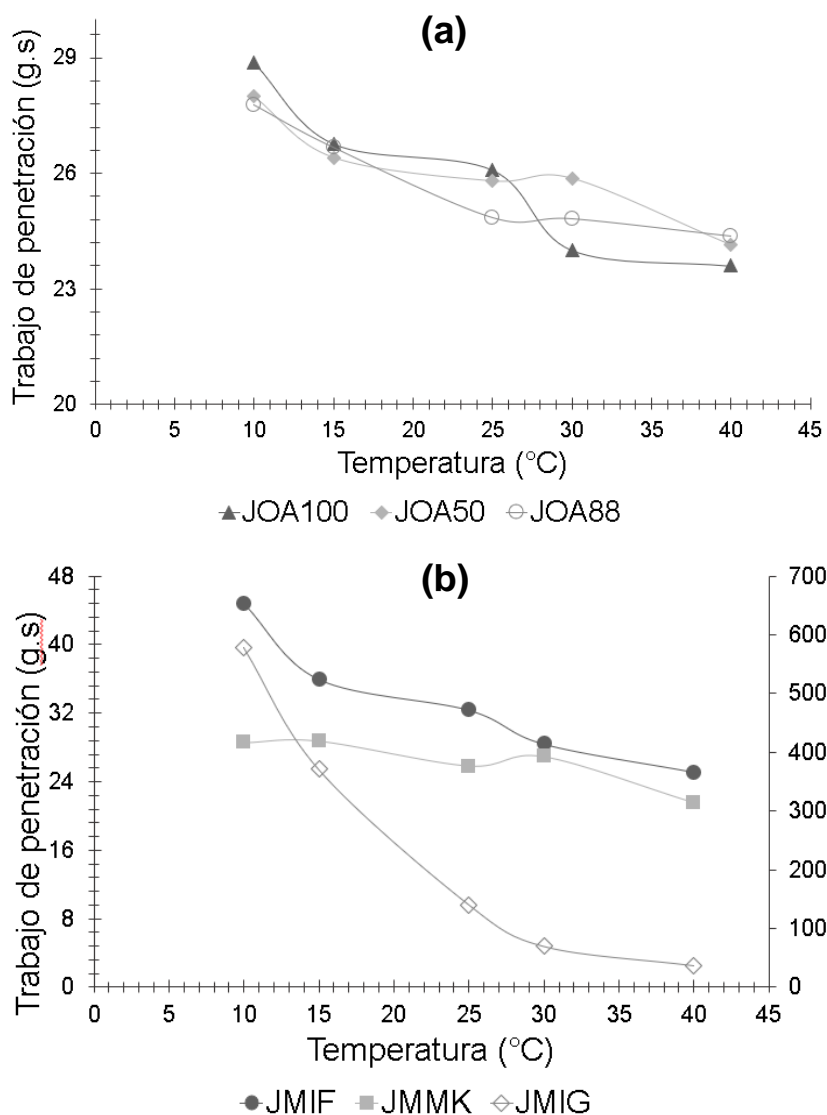


Figura 22. Trabajo de penetración de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

La fuerza adhesiva para los jarabes de agave (Figura 23a) tiene un comportamiento similar entre JOA100 y JOA50, con un comportamiento que tienen a la linealidad de forma que la fuerza adhesiva disminuye con el aumento de la temperatura, sin embargo, para el caso de los jarabes de maíz (Figura 23b) los valores de JMIF y JMMK tienden a variar más con la temperatura, y todos los jarabes entre 30 a 40 °C tienden a un comportamiento constante.

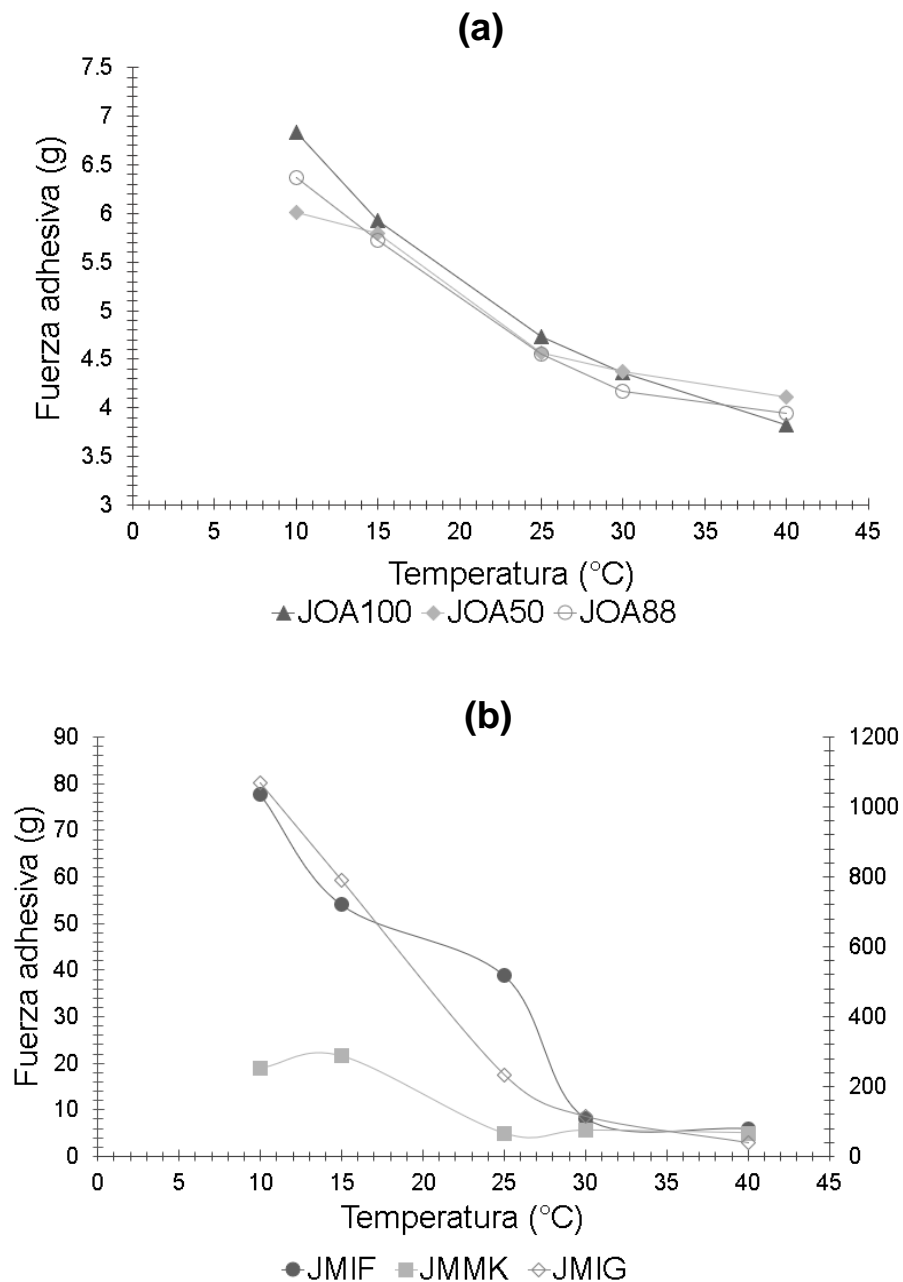


Figura 23. Fuerza adhesiva de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

Los valores de adhesividad en los jarabes de agave (Figura 24a) y maíz (Figura 24b) tienden a disminuir con la temperatura de forma lineal, es en este parámetro donde los jarabes de agave y maíz presentan una gran disminución de 70 a 90%. Los jarabes de agave presentan adhesividad constante a partir de los 25 °C, mientras que los jarabes de maíz tienen una adhesividad constante a partir de los 30°C.

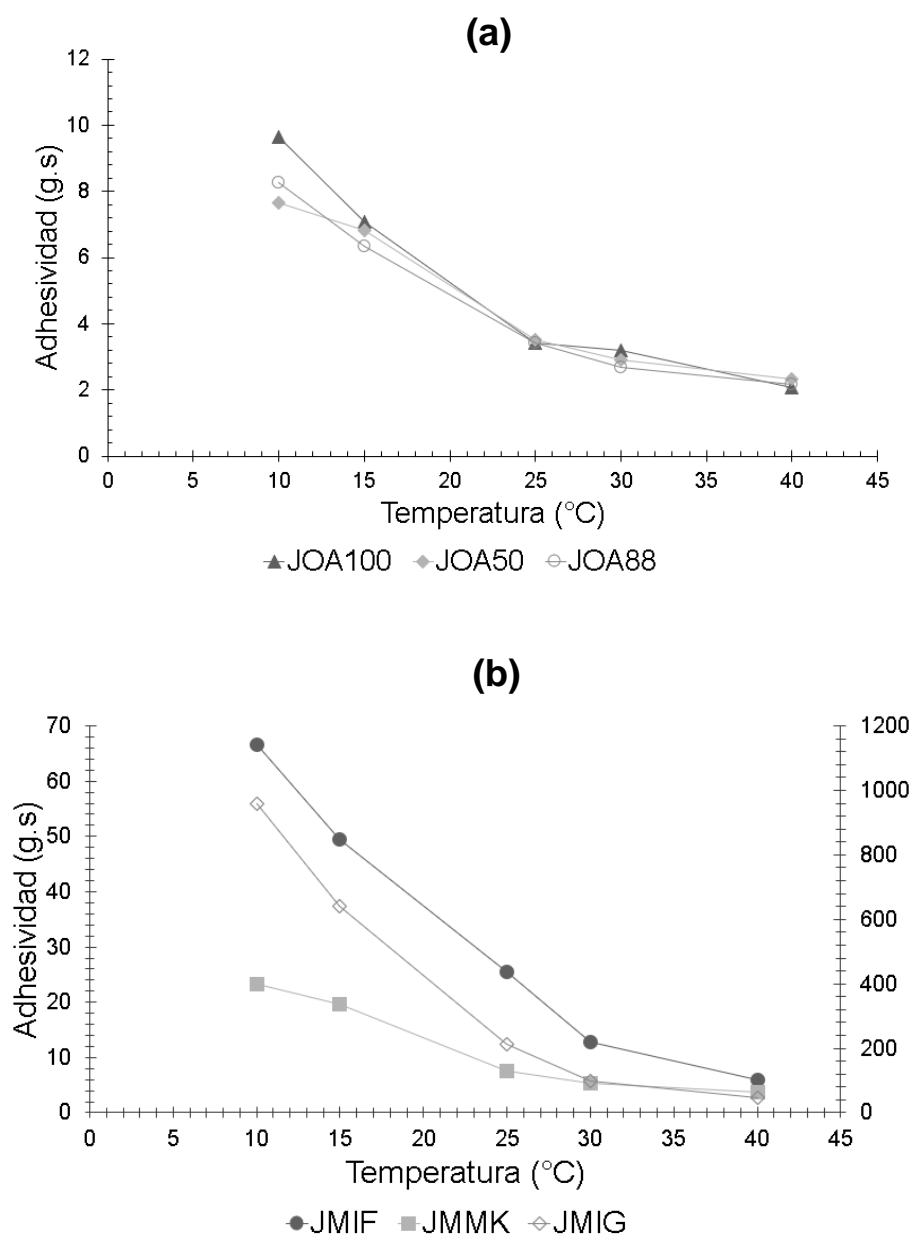


Figura 24. Adhesividad de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

Los valores de estiramiento para los jarabes de agave (Figura 25a) no mostraron diferencia significativa de 10 a 15°C, y todos tienen un comportamiento lineal de 15 a 25°C, mientras que los jarabes de maíz tienen comportamientos distintos, el jarabe JMIG tuvo la menor disminución de estiramiento con respecto a la temperatura en comparación con los demás, y los valores de JMMK fueron significativamente diferentes (Figura 25b).

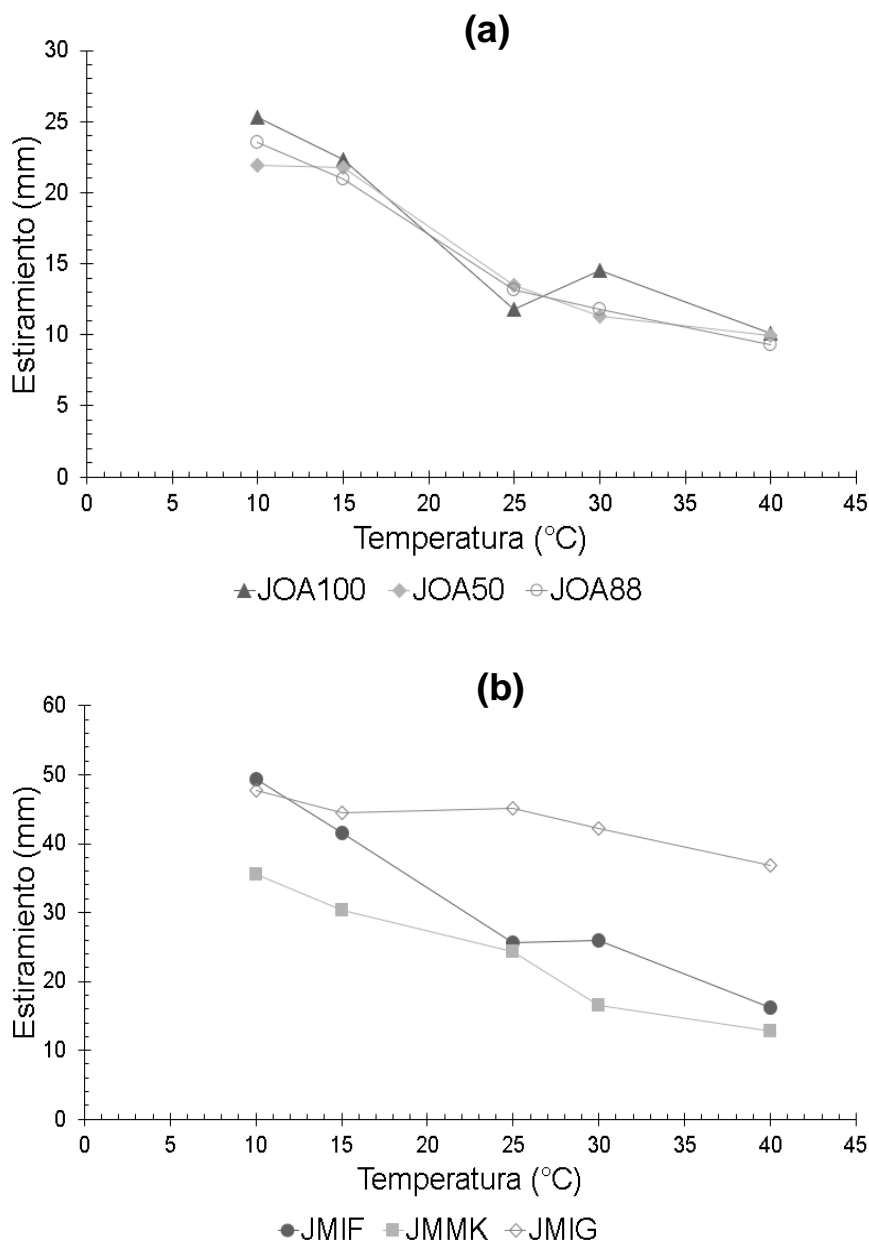


Figura 25. Estiramiento de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

Los valores de untabilidad se obtuvieron de la relación entre el estiramiento y la fuerza adhesiva, en los jarabes de agave (Figura 26a) de igual manera que en los demás parámetros tiende a disminuir en este caso sin ninguna tendencia con la temperatura. En los jarabes de maíz (Figura 26b) estos tienen a aumentar con la temperatura, debido a que hay un valor mayor de estiramiento que de fuerza adhesiva a mayor temperatura, es decir se requiere menor fuerza durante la retirada del dispositivo a mayor temperatura.

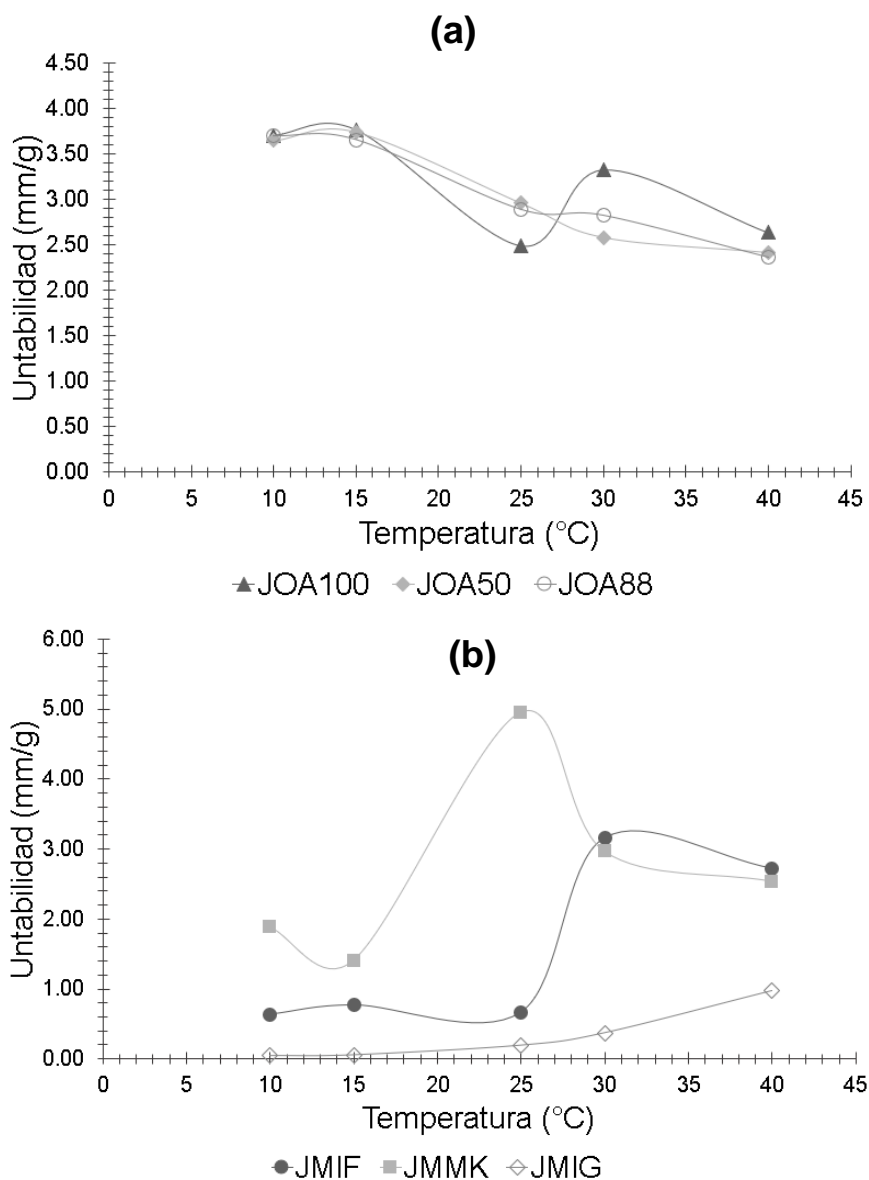


Figura 26. Untabilidad de los jarabes de agave (a) y maíz (b) a diferente temperatura.

La untabilidad en los jarabes de agave tuvieron un comportamiento y valores similares, mientras que los jarabes de maíz presentaron comportamientos distintos, y en los parámetros de firmeza, trabajo de penetración, fuerza adhesiva y adhesividad, el jarabe JMIG presentó valores altos en comparación con los demás jarabes de maíz, esto se atribuye a la composición de éste ya que los compuestos de bajo peso molecular contribuyen a las propiedades viscosas y los compuestos de alto peso molecular contribuyen a las propiedades elásticas en un material adhesivo (Nowakowski y Hartel, 2002); ya que este jarabe posee más del 50% de su composición en otros azúcares diferentes a la glucosa y la fructosa que son carbohidratos de menor peso molecular.

En el Cuadro 19 se muestran los parámetros de la prueba de adhesividad para todos los jarabes con respecto a cada temperatura, a 10 y 15°C los valores del estiramiento y la untabilidad son significativamente diferentes para los jarabes de maíz (Cuadro 20).

A 25°C el jarabe JMMK no presentó diferencia significativa en firmeza, trabajo de penetración y adhesividad con respecto a los jarabes de agave. A 30°C los jarabes JOA88 y JOA50 no mostraron diferencias significativas con respecto a los demás jarabes a excepción de JMIG, mientras que a 40°C éste mostró ser el único significativamente diferente.

El grado de hidrólisis en los jarabes de agave no parece tener un gran impacto en los resultados de la prueba de adhesividad por penetración y retirada, ya que no mostraron diferencias significativas en sus parámetros a diferentes temperaturas en comparación con los jarabes de maíz.

Cuadro 20. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de acuerdo con la temperatura de jarabes de agave y de maíz.

Temperatura (°C)	Jarabe	Firmeza (g)	Trabajo de penetración (g.s)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)	Untabilidad (mm/g)
10	JOA100	18.07 ^b	28.88 ^b	6.83 ^b	9.64 ^b	25.3 ^c	3.7 ^a
	JOA88	15.89 ^b	27.78 ^b	6.37 ^b	8.27 ^b	23.57 ^c	3.7 ^a
	JOA50	16.81 ^b	28 ^b	6.01 ^b	7.67 ^b	21.93 ^c	3.65 ^a
	JMIF	25.42 ^b	44.84 ^b	77.78 ^b	66.53 ^b	49.29 ^a	0.63 ^b
	JMMK	14.99 ^b	28.58 ^b	18.91 ^b	23.36 ^b	35.57 ^b	1.92 ^c
	JMIG	313.21 ^a	578.89 ^a	1069.71 ^a	958.61 ^a	47.78 ^a	0.04 ^d
15	JOA100	14.87 ^b	26.77 ^b	5.93 ^c	7.07 ^b	22.33 ^c	3.76 ^a
	JOA88	14.6 ^b	26.68 ^b	5.72 ^c	6.34 ^b	20.93 ^c	3.66 ^a
	JOA50	14.34 ^b	26.41 ^b	5.8 ^c	6.82 ^b	21.73 ^c	3.75 ^a
	JMIF	20.65 ^b	35.97 ^b	54.01 ^b	49.54 ^b	41.47 ^a	0.77 ^b
	JMMK	16.18 ^b	28.77 ^b	21.53 ^{bc}	19.62 ^b	30.27 ^b	1.43 ^c
	JMIG	197.96 ^a	370.99 ^a	790.37 ^a	640.19 ^a	44.4 ^a	0.06 ^d
25	JOA100	14.6 ^c	26.09 ^b	4.73 ^c	3.41 ^c	11.8 ^b	2.49 ^c
	JOA88	12.08 ^c	24.86 ^b	4.55 ^c	3.43 ^c	13.15 ^b	2.89 ^b
	JOA50	16.04 ^{bc}	25.8 ^b	4.56 ^c	3.53 ^c	13.5 ^b	2.90 ^b
	JMIF	20.89 ^b	32.38 ^b	38.8 ^b	25.53 ^d	25.7 ^b	0.66 ^d
	JMMK	12.94 ^c	25.84 ^b	4.91 ^c	7.52 ^{bc}	24.32 ^b	3.87 ^a
	JMIG	62.32 ^a	140.49 ^a	232.75 ^a	212.64 ^a	45.18 ^a	0.2 ^e
30	JOA100	11.33 ^c	24.01 ^b	4.36 ^b	3.2 ^b	14.5 ^c	3.3 ^a
	JOA88	12.61 ^{bc}	24.83 ^b	4.17 ^b	2.67 ^b	11.78 ^c	2.83 ^b
	JOA50	14.2 ^{bc}	25.87 ^b	4.37 ^b	2.91 ^b	11.28 ^c	2.58 ^c
	JMIF	16.13 ^b	28.43 ^b	8.2 ^b	12.88 ^b	25.92 ^b	3.16 ^a
	JMMK	15.77 ^b	26.94 ^b	5.58 ^b	5.37 ^b	16.53 ^c	2.96 ^b
	JMIG	33.73 ^a	69.38 ^a	113.49 ^a	99.33 ^a	42.22 ^a	0.37 ^d

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

Cuadro 20. Parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada de acuerdo con la temperatura de jarabes de agave y maíz (Continuación).

40	JOA100	11.01 ^b	23.6 ^b	3.83 ^b	2.07 ^b	10.1 ^b	2.64 ^a
	JOA88	12.47 ^b	24.38 ^b	3.94 ^b	2.16 ^b	9.31 ^b	0.72 ^a
	JOA50	11.96 ^b	24.14 ^b	4.11 ^b	2.34 ^b	9.92 ^b	2.41 ^a
	JMIF	12.31 ^b	25.15 ^b	5.97 ^b	5.95 ^b	16.27 ^b	2.72 ^a
	JMMK	9.39 ^b	21.52 ^b	5.03 ^b	3.79 ^b	12.75 ^b	2.53 ^a
	JMIG	20.64 ^a	36.45 ^a	37.83 ^a	47.3 ^a	36.88 ^a	0.975 ^a

*Coeficiente de variación (C.V. %). Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$.

En la Figura 27 se muestra la comparación entre adhesividad y viscosidad de los jarabes de agave y de maíz a 25°C y se encontró que hay una relación lineal con un valor alto de correlación (0.9978) por lo que hay una proporcionalidad entre estos de tal forma que, a mayor viscosidad, mayor es el valor de adhesividad, tal como han reportado otros autores sobre fluidos newtonianos, donde se encontró que la adhesividad estaba relacionada con la tensión superficial, la humectabilidad y la viscosidad de los jarabes (Kilcast y Roberts, 1998).

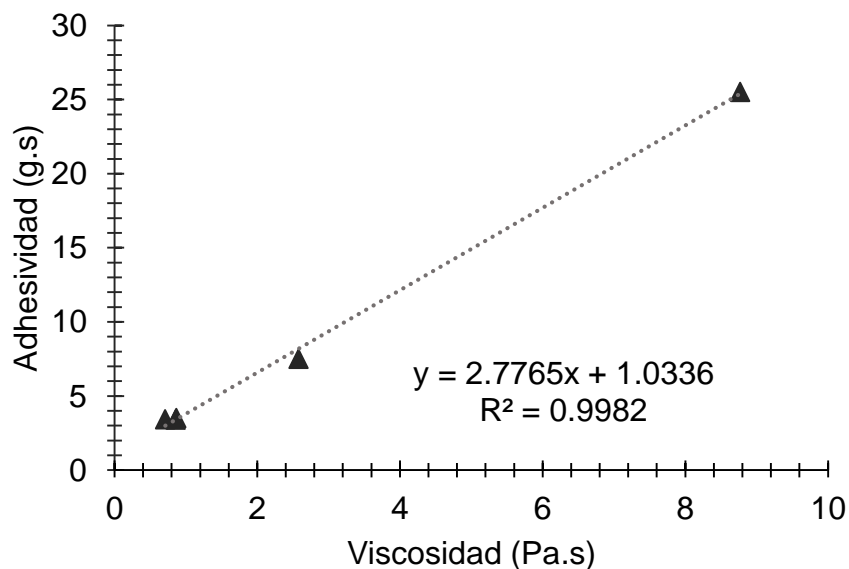


Figura 27. Adhesividad en función a la viscosidad a 25°C.

Los jarabes de maíz con un mayor contenido de sólidos solubles y menor humedad, presentaron los valores de adhesividad más altos, mientras que en los jarabes de agave no se presenta este mismo comportamiento, si no que sus valores de adhesividad son prácticamente iguales (Cuadro 21), por lo que su adhesividad no depende solamente de la cantidad de sólidos.

Cuadro 21. Adhesividad, °Brix y humedad de jarabes de agave y maíz.

Jarabe	Adhesividad (g.s) a 25°C	°Brix	Humedad (%)
JOA100	3.4	75.3	21.6
JOA88	3.4	74.3	23.1
JOA50	3.5	70.6	26.8
JMIF	25.5	80.4	16.1
JMMK	7.5	75.2	22.62
JMIG	212.6	83.9	12.15

La disminución de los parámetros: firmeza, trabajo de penetración, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento con la temperatura, así como la viscosidad disminuye a medida que aumenta la energía cinética de las moléculas y las distancias intermoleculares aumentan (Constenla et al., 1989), por lo que a mayor temperatura se requiere de menos esfuerzo para deformar al jarabe, menos fuerza y trabajo para penetrarlo facilitándose su manejo.

La adhesividad puede ser un atributo negativo como positivo en los alimentos dependiendo del uso y las características que se deseen exhibir en un producto; Hernández et al., (2008) demostró que variando los niveles de viscosidad en los jarabes se tiene un mejor control de la textura.

3.4 Propiedades de fusión y temperatura de transición vítrea

Se determinaron las propiedades térmicas para los sólidos de glucosa de maíz, ya que este es un producto en polvo con bajo contenido de humedad, por lo que el efecto de la plastificación del agua para este producto fue prácticamente nulo, y esto

permitió el poder determinar la temperatura de transición vítrea, así como su fusión (Figura 28).

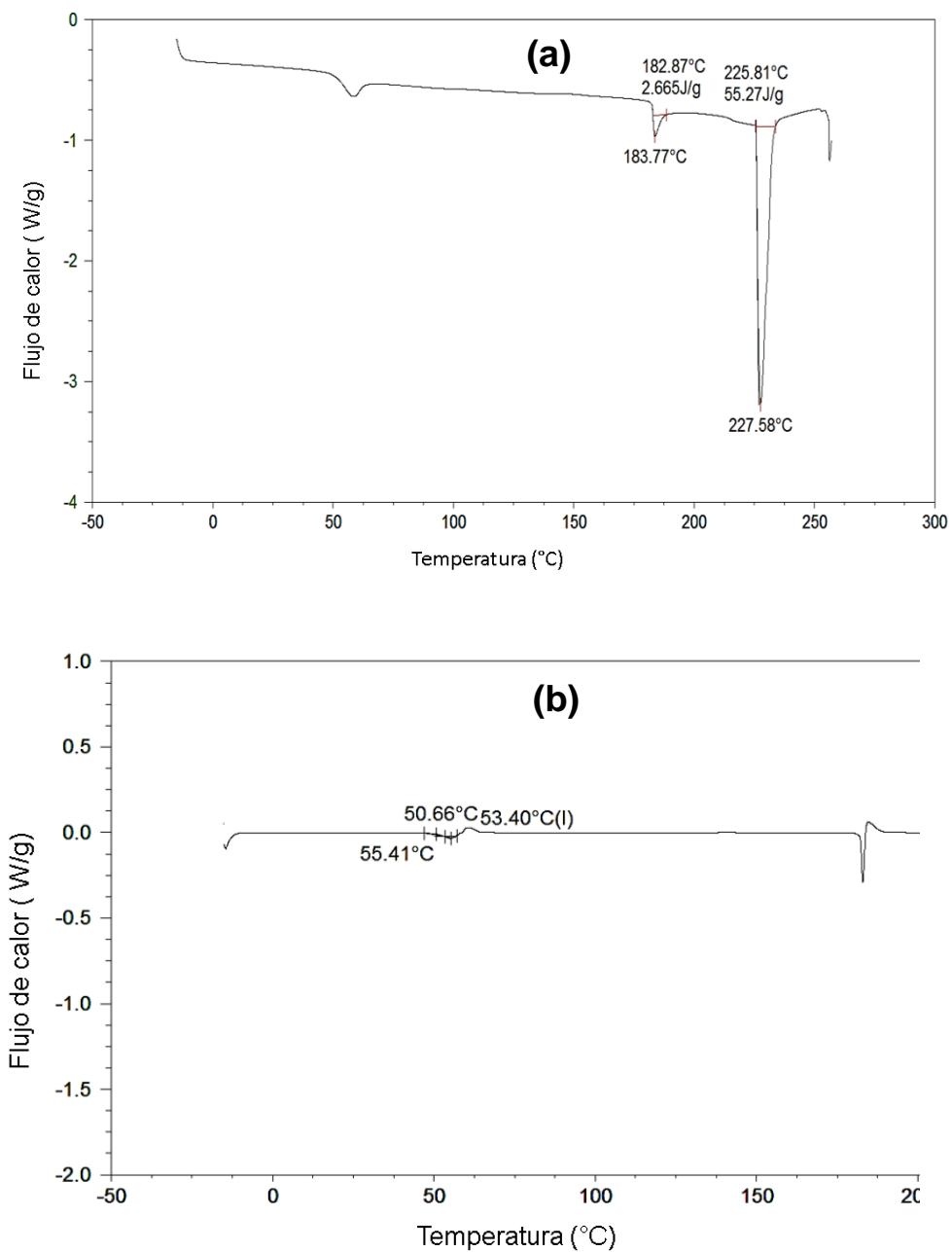


Figura 28. Termograma que muestra transición vítrea (a) y fusión (b) de sólidos de glucosa.

En las Figuras 29 y 30 se muestran los termogramas obtenidos para JOA100 y JOA88 donde es posible determinar la temperatura de fusión de 152.25 °C para JOA100 y 148.23 °C para JOA88, sin embargo, no se observa el comportamiento de la temperatura de transición vítrea y posterior a esto se observa una descomposición del material.

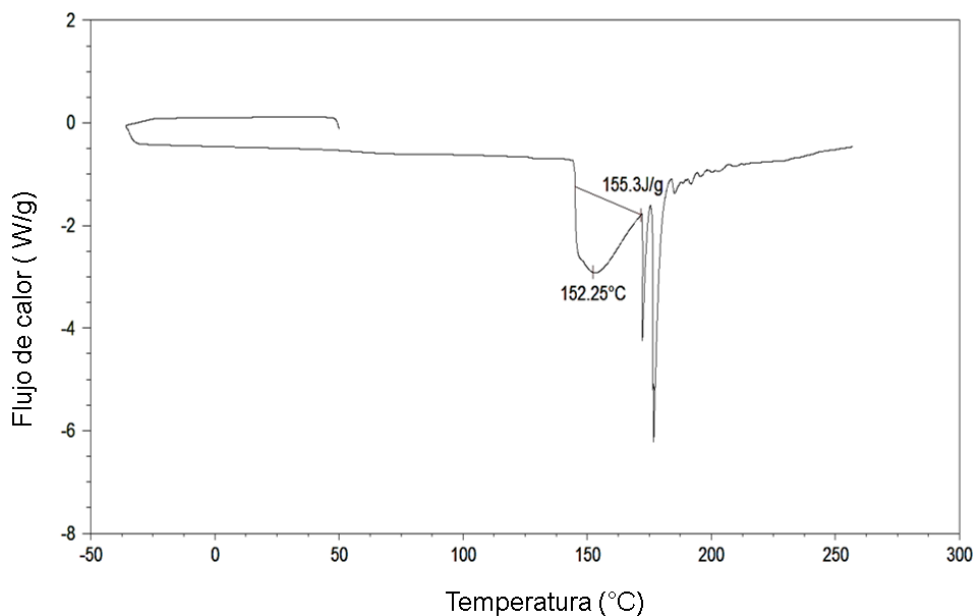


Figura 29. Termograma de JOA100

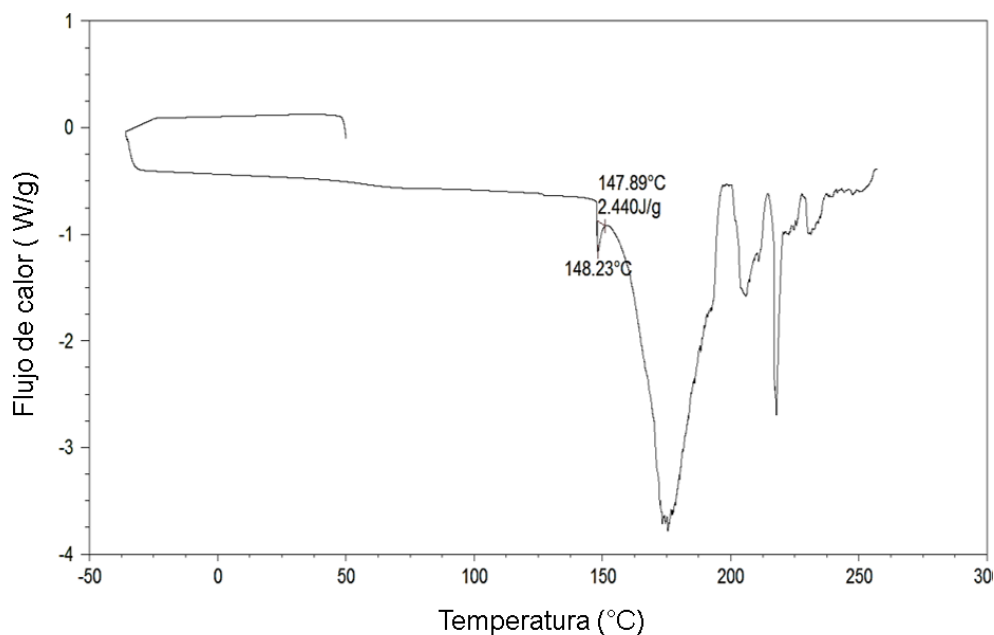


Figura 30. Termogramas de JOA88.

En las Figura 31 y 32 se observan los termogramas para JOA50 y JMMK, en donde se encontraron dos temperaturas de fusión para JOA50 (143.71 °C y 169.06 °C) y una sola temperatura de fusión para JMMK (94.69 °C).

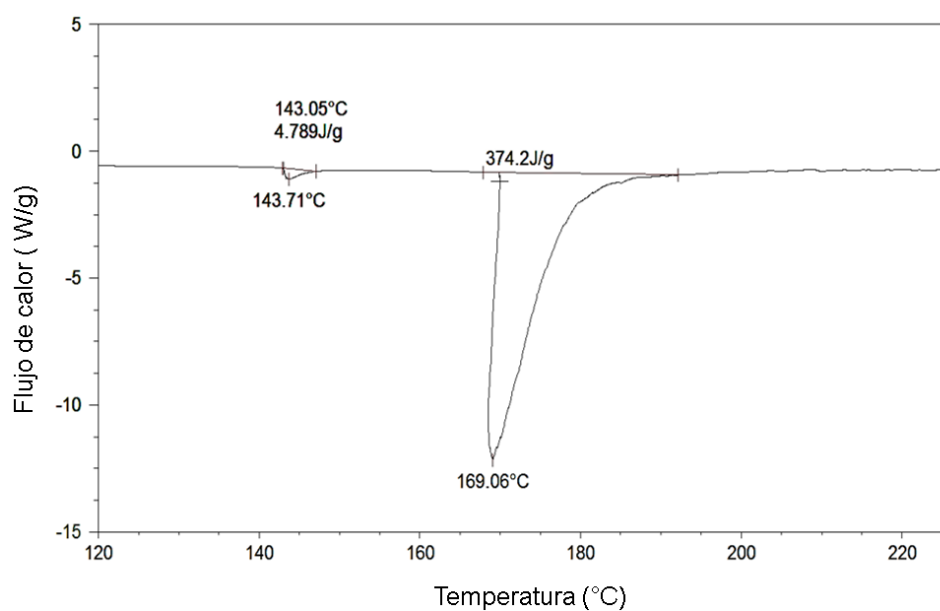


Figura 31. Termograma de JOA50

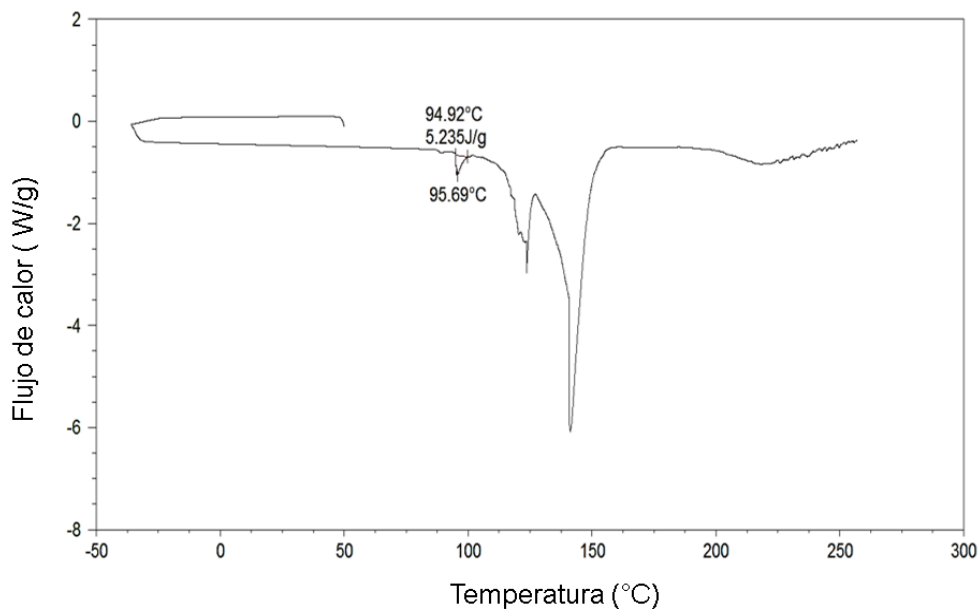


Figura 32. Termograma de JMMK

En el Cuadro 22 se presenta la temperatura de fusión y transición vítrea de los jarabes de agave y maíz obtenidos de los termogramas, en donde se observa que los valores de temperatura de fusión de los jarabes de agave tienen valores relativamente cercanos, ya que están en un intervalo de 143.05 a 152.25 °C, y estos valores son similares a los reportados para glucosa (141.89°C -150 °C) y fructosa (110°C-156.34 °C) (Ahmed et al., 2007; Saavedra-Leos et al.,2012), carbohidratos que están en mayor proporción en estos jarabes. Los sólidos de glucosa y el jarabe JOA50 presentaron dos valores de fusión, donde los sólidos de glucosa mostraron una temperatura de fusión y una temperatura de transición vítrea similar al de la sacarosa (Saavedra-Leos et al., 2012). ΔH representa la variación de la entalpía de fusión durante el proceso, es decir la energía necesaria para pasar del estado sólido a líquido, JMMK fue quien requirió mayor energía para fundirse debido a la diversidad de sus componentes.

Cuadro 22. Temperatura de fusión y de transición vítrea de jarabes de agave y de maíz.

Material	Temperatura de transición vítrea (°C)			Temperatura de fusión (°C)		ΔH (J/g)
	T inicial	T medio	T final	T inicial	T final	
Sólidos de glucosa	50.66	53.40	55.41	182.87	183.77	2.66
				225.82	225.81	55.27
JOA100	-	-	-	-	152.25	155.3
JOA88	-	-	-	147.89	148.89	2.44
JOA50	-	-	-	143.05	143.71	4.789
				-	169.06	374.2
JMMK	-	-	-	94.92	95.69	5.23

Sin embargo, los valores de Tg publicados por diferentes autores varían considerablemente para el mismo azúcar debido a una serie de factores, entre ellos la pureza del cristal, la presencia de agua residual, el tiempo de medición, el historial térmico, el método de medición, así como la aparición de caramelización y/o

descomposición de los azúcares durante la medición de Tg (Jiang et al., 2008; Vanhal y Blond, 1999 citado por Saavedra-Leos et al., 2012).

En el presente estudio no se reportan Tg para los jarabes de agave debido a que no se realizó ningún tratamiento a la muestra, en estudios como el de Sobrino et al. (2017), las muestras de jarabes fueron liofilizadas antes de llevar a cabo la prueba con el fin de eliminar la humedad presente en cada jarabe, y reportó un valor de Tg de 75.10 °C para sólidos de jarabe de agave y de 23 °C para sólidos de jarabe de maíz.

CONCLUSIONES

Los jarabes de maíz presentaron mayor contenido de sólidos solubles (83%) y menor contenido de humedad (12.15%) en comparación con los jarabes de agave, mientras que los valores de actividad de agua tuvieron diferentes valores (jarabes de agave 0.655 – 0.82; jarabes de maíz 0.69 – 0.82). Los resultados de pH se encontraron en un intervalo similar para ambos tipos de jarabes (jarabes de agave 5.74 – 6.35 y jarabes de maíz 5.78 – 6.45).

Los jarabes de agave mostraron tener colores más oscuros y amarillos mientras que los de maíz fueron los jarabes con los colores más claros; en cuanto a las propiedades reológicas ambos tipos de jarabes presentaron un comportamiento newtoniano. Al incrementar la temperatura la viscosidad de los jarabes de agave disminuyó entre 40-50%, mientras que en los jarabes de maíz disminuyó un 30-40%, y los jarabes de maíz tuvieron los valores más altos de viscosidad en ambas temperaturas. Dada la naturaleza química de los fructanos, el jarabe de agave hidrolizado al 100% y al 88% tienen un mayor contenido de fructosa, lo que afecta principalmente su viscosidad, dando como resultado una viscosidad baja.

Los parámetros de la prueba de adhesividad por penetración y retirada fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento mostraron una tendencia lineal a disminuir con la temperatura para ambos tipos de jarabes. En cuanto a las propiedades térmicas se encontraron valores de temperatura de fusión de entre 143 y 152°C para los jarabes de agave y para el jarabe de maíz de 94.6 °C.

Las propiedades de los jarabes dependen en gran medida del grado de hidrólisis ya que a partir de ésta la composición del producto final varía en la cantidad y tipo de azúcar presente en cada jarabe, lo que repercute directamente en sus propiedades.

Por lo tanto, a partir del conocimiento de la composición y las propiedades fisicoquímicas, reológicas, texturales y térmicas y su relación entre ellas es que

podemos tener parámetros que nos permitan identificar a los jarabes y darles mayores usos es la industria.

Los jarabes de agave al tener un mayor contenido de fructosa en su composición y una baja viscosidad pueden tener uso como endulzante o saborizante en bebidas lácteas (postres, yogurt, leches saborizadas), en panificación y en general productos en los que la viscosidad y propiedades adhesivas no sean determinantes, el jarabe JOA50 que tuvo el color más claro puede utilizarse sin que proporcione tonalidades de color, al contrario de JOA100, y ya que tienen una aw y pH relativamente bajos pueden alargar la vida de anaquel de los productos en los que sean aplicados proporcionándoles mayor estabilidad microbiológica.

En el presente estudio los jarabes de agave presentaron alguna similitud con el jarabe de maíz JMMK en sus propiedades.

REFERENCIAS

- Abbes, F., Masmoudi, M., Kchaou, W., Danthine, S., Blecker, C., Attia, H., Besbes, S. (2015). Effect of enzymatic treatment on rheological properties glass temperature transition and microstructure of date syrup. *Food Science and Technology*, 60, 339-345.
- Ahmed, J., Prabhu, S.T., Raghavan, N.M. (2007). Physicochemical, rheological, calorimetric and dielectric behavior of selected Indian honey. *Journal of Food Engineering*. 79, 1207-1213.
- ALMEX (2006). "Hoja técnica Alta Fructosa 42".
- ALMEX (2007). "Hoja técnica Alta Fructosa 55".
- Alvarado, J., Aguilera, J.M. (2001). *Propiedades Físicas en la Industria de Alimentos*. Zaragoza España: Acribia.
- AOAC (2000). *En Official methods of analysis*. 17th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemistry.
- Badui, S.D. (2006) *Química de los Alimentos*. 4ª ed. México: Pearson.
- Bhandari, B. R., Hartel, R.W. (2008). Kinetics of enthalpy relaxation in corn syrup-sucrose mixtures. En: *Water Properties in Food, Health, Pharmaceutical and Biological Systems: ISOPOW 10* (Reid D.S., Sajjaanantukul, T., Lillford, P.J., Charoenrein, S., eds.), Pp. 419. Ames, Iowa: Wiley.
- Cambero, M. I., Fernández, L., García, M. L., García de Fernando, G., De la Oz, L. (1999). *Tecnología de los Alimentos, Componentes de los Alimentos y Procesos*. Vol.1. 1ª ed. España: Síntesis.
- Cargill. (2012). Fichas técnicas.
- Casey, A.Z. (1989). Resin dispersions. En: *Handbook of pressure sensitive adhesive technology* (D. Satas, ed). Pp 545-566. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Celeghin, A.G., Rubiolo, A.C. (2002). Variación de la transición vítrea de sistemas azucarados con la composición y las condiciones de almacenamiento. *Revista FABICIB*, 6, 139-145.
- Chacón, V.A. (2006). Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofruetosacaridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana*. 17(2), 265-286.

- Chacón-Villalobos, A., Pineda-Castro, M.L., Méndez-Rojas, S.G. (2013). Efecto de la proporción de leche bovina y caprina en las características de dulce de leche. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1): 149-167.
- Constenla, D.T., Lozano, J.E., Crapiste, G.H. (1989). Thermophysical properties of clarified Apple juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Science*, 54, 663.
- Crane (1992). *Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías*. Mc Graw Hill.
- Espinosa-Andrews, H., Urias-Silvas, J. E. (2012). Thermal properties of agave fructans (*Agave tequilana* Weber var. Azul). *Carbohydrate Polymers*, 87, 2671-2676.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., Preanzetti, V. (2010). El color en los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio*, 13 (25): 145-152.
- Fennema, O. R. (2000). *Química de los Alimentos*. 2^{ed}. Zaragoza España: Acribia.
- Gabsi, K., Trigui, M., Barrington, S., Noureddine, H. A., Taherian, R. A. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *Journal of Food Engineering*, 117, 165-172.
- García-Garibay, G.M., Quintero, R.R., López-Munguía, C.A. (2004). *Biotecnología Alimentaria*. México: Limusa.
- García-González. A., López, G.M. (2013). Jarabe de Agave: Alternativa natural. Énfasis Alimentación. Disponible en <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/68396-jarabe-agave-alternativa-natural> Consultado 10 septiembre 2017.
- García, M. A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87, 14-23.
- Gil, M. L. D. (2008). Obtención de jarabe de maltosa a partir del germen de maíz desgrasado. Informe de pasantía de Ingeniería Química. Universidad Simón Bolívar (Venezuela).
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., Ortiz-Pérez, M. D., Becerra Jiménez J. (2015). Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck fructans. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 59-72.

- González, F. A. (2012). Caracterización de las propiedades funcionales de fructanos de agave para su uso como sustituto de grasa en alimentos. Tesis para lograr el grado de maestría en ciencias en desarrollo de productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional (México).
- González-López, M.M., Huchín, V. M., Sauri-Duch, E., Zaldívar-Cruz, J.M. (2018). Determinación de color de las mieles tabasqueñas. Pp 412-416. XXX Reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria Tabasco 2018 y VII Simposio internacional en producción agroalimentaria tropical, 8-9 de noviembre, Villahermosa, Tabasco.
- Gschaedler, A. (2012). Potencialidades del maguey. *Agroentorno*, 145(15), 33-34.
- Hadjikinova, R., Marudova, M. (2016). Thermal behaviour confectionary sweeteners blends. *Bulgarian Chemical Communications*, 48, 446-450.
- Hanna Instruments. (2017). Ficha técnica: Determinación de color en miel.
- Hart, F. (1991). *Análisis Moderno de los Alimentos*. Zaragoza España: Acribia.
- Hernández, U. J. P., Rodríguez, A. S. L., Bello, P. L. A. (2008). Obtention of fructose syrup from plantain (*Musa paradisiaca L.*) starch. Partial characterization *Interciencia*, 33 (5): 372-376.
- Hobbs, L. (2009). Sweeteners from Starch: Production, properties and uses. En: *Starch: Chemistry and Technology* (R. L. Whistler, J.N. Bemiller, y E. F. Paschall, eds.), Pp. 797-832. USA: Academic Press.
- IAlimentos. (2015) La magia de los jarabes de maíz. Disponible en <http://revistaialimentos.com/ediciones/edicion5/ingredientes-5/la-magia-de-los-jarabez-de-maiz.htm>. Consultado en 25 de septiembre 2017.
- Ibérica. Equipos de precisión. (2003). Fundamento Teórico. Densimetría-Aerómetros. Disponible en <http://www.gisiberica.com> Consultado el 30 octubre 2017.
- Kilcast, D., Roberts, C. (1998). Perception and measurement of stickiness in sugar-rich foods. *Journal of Texture Studies*, 29, 81-100.
- Kleim, N.L., Stanhope, K. L., Havel, P.J. (2016). Fructose and High-Fructose Corn Syrup. En *Encyclopedia of Food and Health* (B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá, eds.), Pp. 119-124. USA: Academic Press.

- Koolman, J., Rohm, K.H. (2003). *Bioquímica. Texto y Atlas*. 3ª ed. Madrid: Panamericana.
- Liu, Y., Bhandari, B., Zhou, W. (2007). Study of glass transition and enthalpy relaxation of mixtures of amorphous sucrose and amorphous tapioca starch syrup solid by differential scanning calorimetry (DSC). *Journal of Food Engineering*, 81, 599-610.
- Manual de Instrucciones (2010). pH700, pH /mv/°C/°F Bench Meter, Part of Thermo Fisher Scientific 68x541701.
- Manual de Instrucciones. Refractómetro Digital 300033, 300034, 300035, 300036 Speer Scientific LTD.
- Martínez-Padilla. L. P. (2015). Guía de uso del Reómetro Rheolab QC. Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos. FESC-UNAM.
- Mellado-Mojica, E., López-Pérez, M. G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. azul) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, 47, 233-244.
- Mellado-Mojica, E., López-Pérez, M. G. (2015). Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chemistry*, 167, 349-357.
- Meter Group Inc. (2017). Operator's Manual AquaLab Pre. Water Activity Meter. USA.
- Minolta Co. (1991). Chroma Meter CR-300/CR-310/CR-321/CR-331/CR-331C. Instruction Manual. USA.
- Montañez, S. J., Venegas, G. J., Bernardino, N. A., Ramos R. E. (2011). Enzymatic production of high fructose syrup from *Agave tequilana* fructans and its physicochemical characterization. *African Journal of Biotechnology*, 10(82), 19137-19143.
- NMX-F-005-1983. Alimentos. Glucosa de maíz. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-FF-110-SCFI-2008. Alimentos jarabe de agave 100%-especificaciones y métodos de prueba. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.

- NMX-F-169-1984. Alimentos para humanos. Jarabes. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-V-024-1972. Método de prueba para la determinación del contenido de azúcares-método hidrométrico-gradus Baumé en aguamiel. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NOM-003-SAGARPA-2016 Relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad del jarabe de agave.
- Norma del codex para los azúcares. Codex Stan 212-1999.
- Nowakowski, C., Hartel, R.W. (2002). Moisture sorption of amorphous sugar products. *Journal of Food Science*, 67, 1419-1425.
- Ohaus Corporation (2001). Manual de Instrucciones. Analizador de humedad MB45 Suiza.
- Pearson, D. (1981). *Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos*. Zaragoza España: Acribia.
- Rábago, B. D. (2014). Maltodextrina, aditivo funcional. Énfasis Alimentación. Disponible en: <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/69896-maltodextrina-aditivo-funcional>. Consultado el 20 octubre 2017.
- Roos, Y. (1993) Melting and glass transition of low molecular weight carbohydrates. *Carbohydrate Research*, 238, 39-48.
- Saavedra-Leos, M. Z., Alvarez-Salas, C., Esneider-Alcalá, M. A., Toxqui-Terán, A., Pérez-García, S. A., Ruiz-Cabrera, M. A. (2012). Towards an improved calorimetric methodology for glass transition temperature determination in amorphous sugars. *CyTA - Journal of Food*, 10, 258-267.
- Sablani, S. S., Kasapis, S., Rahman, M. S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 78, 266-271.
- Samforlab. (2019). Sucralín. Catálogos. La sucralosa. Disponible en: <http://samforlab.com/catalogs/sucralin.pdf> Consultado el 2 febrero 2019.

- Shendurse, A. M., Khedkar, C. D. (2016). Glucose: Properties and Analysis. En *Encyclopedia of Food and Health* (B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá, eds.), Pp. 239-247. USA: Academic Press.
- Sobrino, G. L., Vargas, M. A., Chiralt, A., Eschire, I. (2017). Thermal properties of honey as affected by the addition of sugar syrup. *Journal of Food Engineering*, 213, 69-75.
- Sperling, L. H. (2006). *Physical Polymer Science*. 4th ed. Bethehem Pennsylvania: A John Willey & Sons, Inc.
- Ulloa, J. A., Espinosa, A. H., Cruz, R.G.K., Rosas, U. P., Ulloa, R. B. E., Ramírez, R. J. C. (2010). Los fructanos y su papel en la promoción de la salud. *Fuente*, 5, 57-62.
- Velázquez, M. M. y Ordorica, V. M. A. (2010). Estructura de glúcidos. Disponible en <http://www.bioquimica.dogsleep.net/Teoria/archivos/Unidad51.pdf>. Consultado el 26 octubre 2017.
- Waleckx, E., Gschaedler, A., Colonna-Cecaldi B., Monsan, P. (2008). Hydrolysis of fructans from *Agave tequilana* Weber var. Azul during the cooking step in a traditional tequila elaboration process. *Food Chemistry*, 108(1), 40-48.
- Whillems, J. L., Low, N. H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 8745-8754.
- White, J. S. (2014). Sucrose, HFCS, and Fructose: History, manufacture, composition, applications, and production. En: *Sucrose and Health, Nutrition and Health*. (J. M. Rippe, ed.), Pp. 13-32. New York, USA: Human Press.
- White, J. S., Foreyt, P. J. (2010). Ten myths about high-fructose corn syrup. *Food Technology*, 96, 10.06 www.ift-org.