



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**CARACTERIZACION REOLOGICA Y TEXTURAL DE UNA BASE
DE GOLOSINA SEMILIQUIDA. INFLUENCIA DE LA
FORMULACION Y PROCESO DE ELABORACION.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

MARIA DEL PILAR MOLINA RUBIO

ASESORA DE TESIS:

DRA. LAURA PATRICIA MARTINEZ PADILLA



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ GRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Caracterización Reológica y Textural de una Base de Golosina Semilíquida. Influencia de la Formulación y Proceso de Elaboración.

que presenta la pasante: María del Pilar Molina Rubio
con número de cuenta: 09361465-8 para obtener el título de:
Ingeniera 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 HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de Mayo de 2005.

PRESIDENTE	<u>IBQ. Norma Casas Alencaster</u>	
VOCAL	<u>Dra. Laura Patricia Martínez Padilla</u>	
SECRETARIO	<u>IBQ. Leticia Figueroa Villarreal</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. Sandra Rueda Enríquez</u>	

EN ESTA TESIS, QUIERO COMPARTIR UN POCO DE LO MUCHO QUE LA DOCTORA PATY ME HA ENSEÑADO. A ELLA MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO, POR QUE SIN CUYA ORIENTACIÓN, CONOCIMIENTOS Y APOYO, NO HUBIERA SIDO POSIBLE MI PROPIA REALIZACIÓN.

A LA MAESTRA NORMA CASAS ALENCATER, MI ESPECIAL AGRADECIMIENTO POR SU INVALUABLE CONTRIBUCIÓN EN LA PARTE CONCERNIENTE AL ESTUDIO DE LA TEXTURA.

A CADA UNO DE LOS MIEMBROS DE JURADO, INFINITAS GRACIAS POR TODAS SUS APORTACIONES.

EN AGRADECIMIENTO A TODOS LOS PROFESORES QUE PARTICIPARON EN MI FORMACIÓN, YA QUE SIN USTEDES NO HUBIERA LOGRADO CONCRETAR MI ANHELO DE SER INGENIERA.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Y EN ESPECIAL A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, QUE REPRESENTA LA INSITUCIÓN EN DONDE FUE POSIBLE CUMPMPLIR ESTE GRAN LOGRO.

MUCHAS GRACIAS A TODOS AQUELLOS QUE DE ALGUNA FORMA ME BRINDARON SU APOYO.

ÍNDICE	
Resumen	7
Introducción	8
Objetivo General	11
Objetivos Particulares	11
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	12
1.1 Fondant	12
1.2 Sacarosa	18
1.3 Ácido Cítrico	21
1.4 Hidrocoloides	24
1.5 Dextrana	28
1.5.1 Propiedades Reológicas	33
1.6 Carragenina	34
1.6.1 Propiedades Reológicas	41
1.7 Reología	43
1.7.1 Reología de Alimentos Semilíquidos	51
1.8 Textura	52
1.8.1 Análisis del Perfil de Textura	54
1.8.2 Textura de Alimentos Semilíquidos	58
1.9 Relación de Propiedades Reológicas y Texturales	58
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	60
2.1 Actividades Preliminares	60
2.2 Proceso de Elaboración de la Golosina Semilíquida	62
2.2.1 Descripción del Proceso	63
2.3 Ingredientes	65
2.4 Diseño Experimental Factorial Semicompleto	65
2.4.1 Descripción	66
2.4.2 Efecto de cada Variable sobre el Tipo de Hidrocoloide	69
2.5 Propiedades Reológicas y Texturales	72
2.6 Propiedades Físicas y Físicoquímicas	73

CAPÍTULO III RESULTADOS Y ANÁLISIS	76
3.1 Resultado de las Actividades Preliminares	76
3.2 Propiedades Reológicas en Cizalla Estacionaria	77
3.2.1 Curvas de Flujo de la Golosina Semilíquida Elaborada con Carragenina	77
3.2.1.1 Análisis Estadístico	80
3.2.2 Curvas de Flujo de la Golosina Semilíquida Elaborada con Dextrana	81
3.2.2.1 Análisis Estadístico	84
3.3 Pruebas Oscilatorias	85
3.3.1 Viscosidad Dinámica de Muestras Elaboradas con Carragenina	86
3.3.1.1 Análisis Estadístico	88
3.3.2 Viscosidad Dinámica de Muestras Elaboradas con Dextrana	89
3.3.2.1 Análisis Estadístico	91
3.4 Pruebas Texturales	92
3.4.1 Análisis del Perfil de Textura	92
3.4.1.1 Curvas del Perfil de Textura de Muestras Elaboradas con Carragenina	95
3.4.1.1.1 Análisis Estadístico	97
3.4.1.2 Curvas del Perfil de Textura de Muestras Elaboradas con Dextrana	98
3.4.1.2.1 Análisis Estadístico	100
3.4.2 Curvas de Adhesividad	101
3.4.2.1 Curvas de Adhesividad de Muestras Elaboradas con Carragenina	102
3.4.2.1.1 Análisis Estadístico	104
3.4.2.2 Curvas de Adhesividad de Muestras Elaboradas con Dextrana	105
3.4.2.2.1 Análisis Estadístico	106

3.5 Resultados de las evaluaciones Físicas y Fisicoquímicas	108
3.5.1 Análisis de los Resultados de las Propiedades Físicas y Fisicoquímicas	109
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXO I. Cuadro de Aplicaciones de Algunos Hidrocoloides	122
ANEXO II. Descripción de las Geometrías	127
A) Cilindros Concéntricos	127
B) Placas Paralelas	128
ANEXO III. Ejemplo de Aplicación del Análisis Estadístico	129
ÍNDICE DE FIGURAS	
1.1 Clasificación de las Confituras de Acuerdo a su Tipo	14
1.2 Estructura Básica de un Segmento de Dextrana	31
1.3 Estructura Básica de un Segmento de las Carrageninas kappa y lambda	36
1.4 Curvas Sinusoidales de los Sistemas Elástico, Viscoso y Viscoelástico	50
1.5 Curva Típica del Perfil de Textura	56
1.6 Parámetros Determinados a través del TPA	56
2.1 Cuadro Metodológico	61
2.2 Diagrama de Bloques del Proceso de Elaboración de la Base de Golosina Semilíquida	63
2.3 Diagrama de Causa y Efecto I	67
2.4 Diagrama Ortogonal L ₁₆ - I	67
2.5 Diagrama de Causa y Efecto II	70
2.6 Diagrama Ortogonal L ₁₆ - II	70
3.1 Curvas de Flujo de Muestras con Carragenina y 31.3°Brix	78
3.2 Curvas de Flujo de Muestras con Carragenina y 83°Brix	79

3.5 Viscosidad Dinámica de Muestras de Carragenina y 31.3°Brix	86
3.6 Viscosidad Dinámica de Muestras de Carragenina y 83°Brix	87
3.7 Viscosidad Dinámica de Muestras de Dextrana y 31.3°Brix	89
3.8 Viscosidad Dinámica de Muestras de Dextrana y 83°Brix	90
3.9 Representación Gráfica de Curvas de TPA de Muestras de 31.3°Brix	93
3.10 Representación Gráfica de Curvas de TPA de Muestras de 83°Brix	94
3.11 TPA de Muestras con Carragenina y 31.3°Brix	95
3.12 TPA de Muestras con Carragenina y 83°Brix	96
3.13 TPA de Muestras con Dextrana y 31.3°Brix	98
3.14 TPA de Muestras con Dextrana y 83°Brix	99
3.15 Representación Gráfica de Curvas de Adhesividad	101
3.16 Curvas de Adhesividad de Muestras de Carragenina con 31.3°Brix	103
3.17 Curvas de Adhesividad de Muestras de Carragenina con 83°Brix	103
3.18 Curvas de Adhesividad de Muestras de Dextrana y 31.3°Brix	105
3.19 Curvas de Adhesividad de Muestras de Dextrana y 83°Brix	106

ÍNDICE DE CUADROS

1.1 Clasificación de Dulces Elaborados con Azúcar de Acuerdo a su Estructura	14
1.2 Composición del Fondant, Basada en 100 gramos de Producto	15
1.3 Formulaciones Base para la Elaboración del Fondant	15
1.4 Principales Grados Industriales del Azúcar	18
1.5 Clasificación de Grados Industriales de Azúcares Utilizados en Confitería	19
1.6 Propiedades de la Sacarosa	21
1.7 Aplicaciones más comunes del Ácido Cítrico en Alimentos	23
1.8 Clasificación de los Hidrocoloides por Categoría	25
1.9 Clasificación de los Hidrocoloides por Fuente de Extracción	25
1.10 Clasificación de los Hidrocoloides por Funcionalidad	26

1.11 Clasificación de los Hidrocoloides por la Concentración en que se Aplican	26
1.12 Clasificación de los Hidrocoloides por su Estructura	27
1.13 Tipos de Dextrana	30
1.14 Propiedades de las Carrageninas kappa y lambda	37
2.1 Proceso Preliminar 1 para la Preparación de la Golosina Semilíquida	60
2.2 Proceso Preliminar 2 para la Obtención de la Golosina Semilíquida	62
2.3 Proceso Final para la Elaboración de la Golosina Semilíquida	62
2.4 Equipos Utilizados para la Elaboración de la Base de Golosina Semilíquida	64
2.5 Descripción de los Ingredientes Utilizados en la Elaboración de las Muestras de Estudio	65
2.6 Niveles Mínimo y Máximo de los Ingredientes a Estudiar en la Golosina Semilíquida	66
2.7 Representación del Arreglo Ortogonal de Acuerdo a la Influencia de Cada uno de los Factores	69
2.8 Representación del Arreglo Ortogonal en Base al Tipo y Concentración de Hidrocoloide	71
2.9 Instrumentos para la Determinación de Propiedades Reológicas y Texturales	73
2.10 Instrumentos para la Determinación de Propiedades Físicas y Fisicoquímicas	75
3.1 Valores de Viscosidad Absoluta de Todas las Muestras	77
3.2 Niveles de los Factores de las Muestras Elaboradas con Carragenina y 31.3° Brix	78
3.3 Niveles de los Factores de las Muestras Elaboradas con Carragenina y 83°Brix	78
3.4 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas en Cizalla Estacionaria de Muestras Elaboradas con Carragenina	80
3.5 Niveles de los Factores de las Muestras Elaboradas con Dextrana y 31.3° Brix	81

3.6 Niveles de los Factores de las Muestras Elaboradas con Dextrana y 83°Brix	82
3.7 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas en Cizalla Estacionaria de Muestras Elaboradas con Dextrana	84
3.8 Valores de Viscosidad Dinámica de Todas las Muestras	85
3.9 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas en Cizalla Oscilatoria de Muestras Elaboradas con Carragenina	88
3.10 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas en Cizalla Oscilatoria de Muestras Elaboradas con Dextrana	91
3.11 Valores de Dureza de todas las Muestras de Estudio	95
3.12 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas Texturales de Muestras Elaboradas con Carragenina	97
3.13 Resultado del Análisis Estadístico de Pruebas Texturales de Muestras Elaboradas con Dextrana	100
3.14 Valores de Fuerza Adhesiva y Trabajo Cohesivo de Muestras Elaboradas con Carragenina	102
3.15 Valores de Fuerza Adhesiva y Trabajo Cohesivo de Muestras Elaboradas con Dextrana	102
3.16 Valores de pH de muestras Elaboradas con Carragenina y Dextrana	108
3.17 Valores de Densidad de Muestras Elaboradas con Carragenina y Dextrana	108
3.18 Valores de Turbidez y Escala de Color de Muestras Elaboradas con Carragenina	109
3.19 Valores de Turbidez y Escala de Color de muestras Elaboradas con Dextrana	109
3.20 Resultado del Análisis Estadístico de las Propiedades Físicas y Fisicoquímicas de Muestras Elaboradas con Carragenina	111
3.21 Resultado del Análisis Estadístico de las Propiedades Físicas y Fisicoquímicas de Muestras Elaboradas con Dextrana	111

RESUMEN

El objetivo de este estudio se enfocó en la evaluación del efecto de la velocidad de agitación, aunado a la adición de dos tipos de hidrocoloideos, uno gelificante y otro espesante, sobre las características reológicas, texturales, físicas (densidad, color y turbidez) y fisicoquímicas (pH), para la elaboración de una base de golosina semifluida.

Como actividades preliminares se determinó: la concentración y el tipo de hidrocoloide (espesante y gelificante), así como el proceso de elaboración que proporcionaron las características físicas (consistencia y claridad) deseadas para el desarrollo del producto de estudio.

El diseño experimental se basó en un diseño factorial semicompleto, que constó de un arreglo lineal (L_{16}), preparando 32 muestras, con dos niveles de variación (mínimo y máximo) para cada uno de los factores, tales como: °Brix, concentración de hidrocoloide espesante (dextrana), concentración de hidrocoloide gelificante (mezcla comercial de carragenina kappa y lambda), velocidad de agitación y concentración de ácido cítrico. Para el análisis de los resultados, se utilizaron dos tipos de arreglo lineal L_{16} , en el primero se demostró la influencia general de todos los factores y el segundo, de manera particular, la influencia de cada factor sobre el tipo de hidrocoloide.

Las propiedades reológicas evaluadas fueron: Patrón de flujo y espectro mecánico, siendo que el factor con el mayor efecto sobre las propiedades reológicas fue °Brix, encontrándose aún mayor influencia de éste para el caso de dextrana que para carragenina; ya que para la carragenina, la adición de ácido cítrico también ejerció un efecto importante.

Las determinaciones texturales estudiadas fueron: El Perfil de Textura y la curva de adhesividad. Para las propiedades texturales, se encontró que la mayor influencia la ejercieron los °Brix, a excepción de la dureza, en donde el factor con el mayor efecto fue la interacción de °Brix con concentración de ácido cítrico. En tanto que el valor de fuerza adhesiva dependió del tipo de hidrocoloide, encontrándose que en la dextrana los °Brix fueron determinantes.

Para el valor de trabajo cohesivo, se observó la total influencia de la interacción de °Brix con concentración de ácido cítrico, a diferencia de la dextrana, para esta propiedad la carragenina tuvo absoluta dependencia de los °Brix.

INTRODUCCIÓN

Debido a la reciente importancia en la investigación y aplicación industrial, el estudio de la reología de alimentos es indispensable para el desarrollo de nuevos productos, cálculos de ingeniería, selección y diseño de procesos, equipos y empaques.

Las evaluaciones reológicas miden el comportamiento de los materiales en términos de esfuerzo, deformación y tiempo. Con la aplicación de la reología pueden clasificarse a los materiales de acuerdo a su comportamiento de sólidos (se deforman), de fluidos (fluyen) o viscoelásticos (tienen a la vez características de sólido y de líquido). El reólogo de alimentos se encuentra con dificultades para obtener datos confiables, debido a la enorme variedad de productos con diferencias estructurales, de composición y al distinto comportamiento de un mismo producto, dependiendo del proceso de elaboración.

En el estudio reológico de alimentos líquidos y semilíquidos, que tienen amplia aplicación industrial (preparación de bebidas, confitería, jarabes, etc), se requiere como parámetro fundamental la viscosidad y el comportamiento o patrón de flujo (Alonso, 1990). Durante el procesamiento y manejo de este tipo de alimentos se puede afectar su textura, sabor y apariencia (Barbosa-Cánovas y Ma, 1995); de ahí la importancia del estudio de la textura, la cual es considerada como la relación de las respuestas sensoriales y mecánicas a la organización estructural del material, (Smith, 1993) y como características que comúnmente son determinadas o medidas por instrumentos mecánicos, cuyas evaluaciones implican la aplicación de los principios de ingeniería.

El estudio que aquí se sustenta, se enfoca a la evaluación de la influencia de los ingredientes, así como el orden de adición y la velocidad de agitación, para la elaboración de una formulación base de una golosina semilíquida. De acuerdo a los ingredientes principales que la constituyen: sacarosa, jarabe de alta fructuosa, agua, al proceso, condiciones de elaboración y a las características finales de la base de golosina, ésta se clasifica dentro los de productos de confitería como fondant (Desrosier, 1986). La importancia de este estudio, se centra en el uso de hidrocoloides como un ingrediente determinante de las características finales del producto, ofreciendo la posibilidad de brindar distintas características reológicas y texturales, o bien de ser una opción para elaborar jarabes o confitería bajos en calorías.

Tanto para el proceso, envase y almacenamiento es importante conservar las propiedades de semilíquido, por lo que se hace indispensable la aplicación de la reología,

con la finalidad de que esta investigación sirva para fundamentar el desarrollo de nuevos productos, ya que en la bibliografía no es común encontrar datos experimentales que avalen la influencia de los ingredientes y proceso de elaboración, como factores que precisen las características finales del producto.

En este estudio se explica la metodología a seguir, para encontrar una formulación y proceso adecuado en el desarrollo de productos con características de golosinas semifluidas. Se investigan las variables que influyen sobre las propiedades reológicas y texturales finales del producto.

El efecto de las variables se determinó por medio de la evaluación de las propiedades reológicas, a través de curvas o patrones de flujo y espectros mecánicos, representados por los valores de viscosidad absoluta y viscosidad dinámica respectivamente, los cuales se realizaron en dos reómetros, Paar Physica LS-100 de cilindros concéntricos para las muestras de bajas viscosidades y Rheolab MC-100 de placas paralelas, para las muestras de viscosidades altas. Las características texturales se evaluaron de forma instrumental, empleando un texturómetro comercial Stable Micro Systems TA-XT2 con un dispositivo cilíndrico de acrílico, por medio del análisis del perfil de textura, expresado a través de los parámetros de dureza, fuerza adhesiva y trabajo cohesivo, estos últimos pueden ser el puente entre los principios reológicos y la nomenclatura popular (Bohlin *et al.*, 1984).

Para la realización del estudio, se recurrió a la planeación de experimentos siguiendo el método de Taguchi e Ichicawa, utilizado con la finalidad de servir como una referencia para el desarrollo de procesos, productos y experimentos (Ross, 1989). Dicho método, representa las interrelaciones entre las variables de formulación y proceso seleccionados. Las variables a manejar en este estudio fueron: concentración de azúcar, ingrediente que incrementa la viscosidad y adhesividad (Kilcast, 1997); el uso de dos tipos de hidrocoloide, uno espesante, dextrana que es un polisacárido de origen microbiano, utilizado en la industria de la confitería por sus cualidades como inhibidor de la cristalización, conservador de sabor y apariencia, estabilizante de la viscosidad, humedad y textura (Charalambous y Doxastakis, 1989) y otro gelificante, carragenina, hidrocoloide que imparte propiedades gelificantes, espesantes, estabilizantes y una textura suave (Oliveros, 1989). pH, determinado por la adición de ácido cítrico, utilizado en la industria de la confitería por su fácil dispersión y soportar elevadas temperaturas de mezclado

(Cakebread, 1981). Y como variable de proceso se estudian dos niveles de velocidad de agitación, que influyen en la distribución y tamaño de partícula del producto final.

La presente tesis consta de tres capítulos, dentro del primero se abordan los antecedentes, características y propiedades de la base de golosina semifluida, así como de cada uno de los ingredientes que se utilizan para su formulación. Se revisan los conceptos y bases de la reología y textura, parte medular y objetivo de estudio de las propiedades de la base de golosina semifluida. En el segundo, se presentan los materiales y métodos, se incluye y explica de manera detallada el diseño experimental utilizado, tanto para desarrollar la base de golosina semifluida como para evaluar la influencia de los factores referidos, sobre las propiedades reológicas y texturales del producto de estudio. Finalmente, en el tercer capítulo se muestran los reogramas, curvas de viscosidad dinámica, curvas del análisis del perfil de textura, análisis estadístico, resultados y análisis de las evaluaciones físicas y fisicoquímicas; estas últimas se realizaron con la finalidad de obtener los parámetros de las características de la base de golosina, que como su nombre lo indica, servirá para desarrollar a partir de ésta otro tipo de dulces o productos de confitería con características semilíquidas.

OBJETIVO GENERAL: Determinar a través de un diseño experimental factorial semicompleto, la influencia e interrelación de la formulación y velocidad de agitación como variable de proceso, por medio de la evaluación de las propiedades reológicas y texturales, con la finalidad de desarrollar un nuevo producto con característica de golosina semilíquida.

OBJETIVO PARTICULARES

- 1) Analizar la influencia de la concentración, tipo de ingrediente y velocidad de agitación, a través de la caracterización reológica, para determinar las propiedades de la base de golosina semilíquida.
- 2) Estudiar el efecto de la concentración, tipo de ingrediente y velocidad de agitación, por medio de la caracterización textural, para determinar las propiedades de la base de golosina semilíquida.
- 3) Evaluar las propiedades fisicoquímicas: pH y físicas: densidad, color y turbidez, por métodos instrumentales, para definir las características de la base de de la golosina semilíquida.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1 FONDANT

El fondant se empezó a fabricar alrededor de 1830 (Gianola, 1986), dando origen a una amplia gama de productos de confitería y pastelería; sin embargo, los dulces de envolturas surgieron hacia 1920 y comenzaron a producirse en masa en 1953 (poco después de la Segunda Guerra Mundial), fue entonces, cuando surgieron las innovaciones químicas y tecnológicas para la fabricación masiva de confitería, adoptándose sistemas de ingeniería cuidadosamente diseñados para la instrumentación automática. En la actualidad se controlan por instrumentos, la temperatura, vacío, humedad, pH, viscosidad, color, etc., lo que acelera la producción y el control de calidad durante el proceso, hasta la obtención del producto final (Desrosier, 1986).

La palabra fondant viene del verbo francés "Fondre", que significa fundir, disolver (Edwards, 2000). El producto se define como una pasta, un dulce o golosina semilíquida elaborada con azúcar (granulado o en otras presentaciones), como ingrediente principal. Son considerados como los dulces de composición más simple, que también pueden definirse de la siguiente manera: líquidos alimenticios elaborados por soluciones de edulcorantes (sacarosa, dextrosa monohidratada, dextrosa anhidra, etc.) en un líquido cualquiera, debido a que según la Norma Oficial Mexicana NOM-f-169-1984, los fondants se clasifican como jarabes. Los fondants son descritos como suspensiones de microcristales de azúcar recristalizada proveniente de una solución sobresaturada de azúcar. Este tipo de productos son utilizados como ingredientes en confitería, para ser añadidos a caramelos, nougats y dulces de mantequilla, además de ser empleado como un producto de confitería por su característica semilíquida.

La cantidad de humedad de los fondants, determina la firmeza del producto, ésta debe encontrarse en valores de entre 12 y 20%, valores por debajo del 12% darán como resultado dulces o caramelos muy duros y aquellos de más del 20%, presentarán características propicias para el crecimiento microbiano y fermentaciones. La humedad se controla por medio de la temperatura de cocción (112 a 121°C) (Gianola, 1986; Pennington y Baker 1990). Por lo general, los fondants están constituidos por sacarosa, jarabe de glucosa y azúcar invertido; la proporción de sacarosa se regula de modo que bajo condiciones ideales se forman pequeños cristales, casi imperceptibles al paladar.

Algunos nuevos productos se preparan de manera que la dextrosa predomina en la fase sólida o bien pueden utilizarse otros ingredientes como saborizantes y colorantes.

Con fundamento a todo lo anteriormente descrito, el producto de estudio puede ser considerado como fondant, el cual entra en la categoría tanto de los dulces no granulados como en el de los aireados y que de acuerdo a la clasificación de los productos de confitería, las confituras se clasifican según su tipo, en tres grupos como se muestra en la Figura 1.1 y de acuerdo a su estructura, como se representa en el Cuadro 1.1

1) **DULCES GRANULADOS.** Soluciones de azúcar sobre enfiada, muy saturada, con humedad de menos de 1%. Durante su proceso se utilizan temperaturas de ebullición elevadas. Con el control del proceso y formulación, se pueden modificar variables como: fragilidad, dulzura, higroscopicidad, densidad y textura.

2) **DULCES NO GRANULADOS.** Son dulces para masticar. Compuestos a partir de jarabe de maíz, grasas, acidulantes y sólidos. Los contenidos de humedad son entre 12 y 15%. Modificando los ingredientes como grasas vegetales, sólidos de leche, emulsificantes, almidón u otro agente gelificante, azúcar, ácido cítrico y sal, se obtienen productos como gomas, malvaviscos y frappés.

3) **DULCES AIREADOS O BATIDOS.** Soluciones sobresaturadas de azúcar, se concentran a temperaturas de 114-117°C, hasta un contenido de sólidos de 85%. Para la preparación se requiere una solución saturada de azúcar y jarabe de maíz (contribuye a dar suavidad y masticabilidad), este último se añade cuando se induce la cristalización, el asemillamiento o incorporación de aire, el cual se realiza a 43°C (temperatura a la cual se forman los cristales de azúcar), posteriormente a esto se agregan los demás ingredientes (Desrosier, 1986).



Figura 1.1 Clasificación de las confituras de acuerdo a su tipo

Cuadro 1.1 Clasificación de dulces elaborados con azúcar de acuerdo a su estructura (Cakebread, 1981).

AZÚCAR NO CRISTALINO (AMORFO O DISUELTO)	AZÚCAR CRISTALINO
DULCES DUROS	FONDANTS (SEMILÍQUIDOS)
TOFFES	FUDGES (DULCES)
CARAMELOS	CREMAS ITALIANAS
GUIRLACHES	MALVAVISCOS GRANULADOS
JALEAS	TURRONES CRISTALINOS
PASTILLAS	MAZAPÁN
GOMAS	PASTAS PRALINE, PRODUCTOS RECUBIERTOS, TABLETAS COMPRIMIDAS
MALVAVISCOS	PASTILLAS
TURRONES	DULCES DE REGALIZ

La composición promedio del fondant basada en 100 g de producto reportada en las tablas de valor nutritivo, se representa en el Cuadro 1.2

Cuadro 1.2 Composición del fondant basada en 100 gramos de producto (Cakebread, 1981; Hayes, 1992; Souci, *et al.*, 2000).

Mine- rales %	Carbo- hidratos %	Energía kcal.	Humedad %	pH	a _w	Ca mg	Fe mg	Na mg	K mg	Vit. B ₁ mg	Vit. B ₂ mg	Niacina mg
1	88	352	12-20	4.4	0.75- 0.8	1-6	4.1	5-46	0.5-3	0.41	0.12	1.1

En el Cuadro 1.3, se ejemplifican algunas proporciones de los ingredientes principales del fondant reportados en la literatura.

Cuadro 1.3 Formulaciones base para la elaboración del fondant (Gianola, 1986; Minifie, 1982; Belitz y Grosch, 1999; Pennington y Baker, 1990).

INGREDIENTE	%	%	%	%	%	%
Azúcar	48	59	60	65	69	80
Jarabe de glucosa	36	17	23	20	17	10
Agua	16	24	17	15	14	10

Para la elaboración del fondant, se pueden cambiar las proporciones y características de los ingredientes, tal es el caso del jarabe de glucosa que puede sustituirse por jarabe de maíz o azúcar invertido, jarabe de maltosa, dextrosa, jarabe de alta fructuosa. Además se pueden adicionar colorantes, saborizantes, pulpas de frutas, leche en polvo, ácido cítrico entre muchas opciones, de acuerdo a las características deseadas del producto final.

El fondant puede producirse en forma continua o por lotes, pero en ambos casos se sigue el proceso general, que se describe a continuación.

El proceso para la elaboración de fondant, radica en disolver el azúcar y el jarabe (de maíz y algunas veces azúcar invertido) con suficiente agua (para la elaboración de los fondants no se aconseja la presencia de elementos reductores, ni sales cálcicas en dosis que exceda la que contienen el agua no dura), posteriormente se somete a cocimiento a temperatura de ebullición (116° a 121°C). A continuación se lavan los lodos del cocedor para asegurar que no quede adherido en ellos azúcar no soluble. La mezcla se hierve entonces a una temperatura de (118-122°C), hasta producir un jarabe con un contenido

en humedad entre el 8 y 15% (Cakebread,1981), de acuerdo con la consistencia o propiedades reológicas y texturales que se deseen obtener en el producto terminado; posteriormente se procede a incorporar lentamente el ácido cítrico, conservando la temperatura de ebullición (siempre que no se rebase el límite de temperatura que produzca alteración de algún componente) hasta que se obtiene una mezcla de color ámbar o bien hasta alcanzar el grado densimétrico deseado. La humedad final del jarabe se controla por medio de la temperatura de cocimiento de entre 38° y 54°C, mediante la continua agitación hasta la recristalización. Hasta este punto se ha elaborado una mezcla de jarabe con ácido cítrico, el cual se procede a enfriar sin moverlo hasta los (36-38°C), esto se realiza con la finalidad de evitar que puedan formarse cristales antes de lo deseado y para que adquiera la viscosidad apropiada (Cakebread,1981).

Cuando se ha logrado que aumente la consistencia del jarabe, se somete a una agitación para conseguir la característica que describe al jarabe, posteriormente se lleva a cabo el proceso llamado "vuelta", con el cual se formará una suspensión de diminutos cristales de azúcar que no son fácilmente perceptibles al paladar. En la actualidad el tamaño de los cristales de azúcar de los fondants, se registra entre 0.025 a 0.051 mm (Pennington y Baker, 1990), el tamaño es controlado por la cantidad de azúcar invertido desarrollada en el cocimiento o bien por la adición de la misma durante un proceso por lotes, la agitación, la temperatura y la presencia de núcleos de cristales.

Una vez que el jarabe mezclado con ácido cítrico se ha enfriado a una temperatura de 38°C, seguida de una agitación vigorosa, se le añaden los demás ingredientes (colorantes, saborizantes, sal, etc.). Conviene someter al fondant antes del envasado a un filtrado que se realiza a presión en filtros bastidores (Pennington y Baker, 1990).

En el proceso por lotes, el cocimiento para la elaboración del jarabe puede efectuarse en un hervidor a fuego directo, calentado por vapor o en un equipo de cocción a vacío. El cocimiento y agitación debe realizarse de manera continua y con un batidor abierto de acero inoxidable. Los batidores abiertos también son conocidos como batidores de crema, que procesan al fondant por lotes. Es una máquina rodeada por un baño o cama de enfriamiento, usualmente mide de 1.83 m a 2.44 m de diámetro y de 0.15 m a 0.20 m de alto. Por arriba de esta cama se encuentra un brazo motorizado equipado con una serie de paletas con raspadores. Cuando el motor es encendido, el brazo rota a una velocidad aproximada de 10 rpm, así que tanto las paletas como los raspadores se mueven a lo

largo del material. Finalmente, la melaza del fondant se vacía en la batidora para ser sometida a un enfriamiento sin ser tocada, una vez que se alcanzó la temperatura de mezclado (32.22°C a 54.44 °C), el motor es encendido nuevamente, los raspadores y las paletas se mueven entre la melaza y la someten a agitación continua hasta reducir la cristalización.

Los fondants, también pueden elaborarse mediante una unidad Stanley, la cual tiene eyectores de vapor a una presión de 4.2 kg/cm². El fondant por lotes se bombea de un tanque de premezclado hasta el primer tubo del cambiador de calor, para cocimiento al vacío. Después de la cámara a vacío, se bombea a través de un segundo tubo del intercambiador para un enfriamiento y cristalización controlada. En forma simultánea, las bombas medidoras introducen saborizantes, colorantes, etc. El dulce enfriado va por el tercer tubo del intercambiador para recalentarse (Desrosier, 1986).

La máquina que produce fondants de forma continua se denomina implicadora, ésta consiste en un mecanismo de enfriamiento y una sección de batido. El mecanismo de enfriamiento, se realiza usualmente por medio de una rueda enfriada con agua, que mide aproximadamente 3.05 m de diámetro y de 0.31 a 0.61 m de ancho. La melaza cocinada es esparcida en una capa delgada encima de la rueda. La temperatura y la velocidad de la rueda de calentamiento son controladas, así que cuando la melaza es descargada, ésta debe alcanzar una temperatura de mezclado (38 a 54°C).

La melaza enfriada se retira de la rueda y se alimenta en la batidora. La sección de batido es por medio de un tubo enchaquetado con agua de aproximadamente 0.15 m de diámetro y de 0.91 a 1.22 m de largo. Dentro del tubo se encuentra un eje motorizado con una serie de paletas dispuestas en un arreglo helicoidal. Cuando el eje se mueve, las paletas agitan el material y lo empujan a lo largo del tubo hacia el extremo final de descarga. Para permitir en la implicadora o procesador un flujo continuo de fondant, se controlan la temperatura y la velocidad de las paletas (Pennington y Baker, 1990).

1.2 SACAROSA

La sacarosa es uno de los más importantes constituyentes de la dieta del hombre y su empleo en la alimentación humana se remonta al año 3000 A.C. en la India. Fue introducida a occidente por el ejército de Alejandro Magno en el año 325 A.C. (Fauconnier y Bassereau, 1980; Salunkhe y Deshpande, 1991).

La industrialización tecnológica y la fabricación de otros productos derivados del azúcar (moscabado y glasé), surgió a partir de 1793-1798 (Blackburn, 1984).

La mayor cantidad de sacarosa se consume en los alimentos industrializados (confitería, jarabes, bebidas, panificación, helados, lácteos, enlatados, cereales, conservas, etc.).

La sacarosa es un disacárido formado por dos azúcares simples o monosacáridos (dextrosa o glucosa y lebulosa o fructuosa) (Cakebread, 1981). Es una de las más puras materias primas utilizadas en la elaboración de alimentos. Actualmente la sacarosa está disponible en una amplia variedad de productos con aplicaciones específicas, tal como se muestra en el Cuadro 1.4

Cuadro 1.4 Principales grados industriales del azúcar (Salunkhe y Deshpande, 1991).

GRADO INDUSTRIAL	CARACTERÍSTICAS	USOS PRINCIPALES
Mineral	Blanca, pocas cenizas	Conservas, bebidas, alimentos de alta calidad, medicinas
Granulada estándar	Alta pureza y calidad	Alimentos industrializados
Enlatada	Baja cuenta bacteriana	Enlatados, confitería
Industrial	Blanca, ligeramente blanca, amarilla, café. Distintos tamaños de cristal	Panificación
Azúcares líquidos	Equivalente a distintos grados correspondientes a la escala Brix	Confitería, misceláneos

Los azúcares industriales comúnmente utilizados en la industria de la confitería, se clasifican por el grado relativo de dulzor, referido al poder edulcorante de la sacarosa. En el Cuadro 1.5 se representa la clasificación de los azúcares industriales y su proceso de obtención.

Cuadro 1.5 Clasificación de grados industriales de los azúcares, utilizados en confitería (Belitz y Grosch, 1999; Blackburn, 1984).

TIPO DE AZÚCAR	NOMBRE	DULZOR	PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS
Centrífuga	Sacarosa	1.00	Extracción a partir de la caña de azúcar o de remolacha
No centrífuga	Glucosa	0.5-0.8	Hidrólisis ácida o enzimática del almidón
	Fructuosa	1.1-1.7	a) Hidrólisis de la sacarosa, seguida de la separación del hidrolizado por cromatografía b) Hidrólisis de almidón, seguido de la isomerización y separación por cromatografía
Líquidas	Jarabe de glucosa	0.3-0.5	Hidrólisis ácida o enzimática de almidón. El grado de dulzor, depende de los parámetros del proceso de obtención (porcentaje de glucosa, maltosa, maltotriosa y oligosacáridos).
	Jarabe de maltosa		Hidrolización de maltosa. El dulzor se ve influenciado por la proporción de maltosa hidrolizada.
	Jarabe de alta fructuosa	0.8-0.9	Isomerización enzimática de la glucosa, en un grado de conversión de 45-50% de una mezcla de glucosa / fructuosa
	Azúcar invertido Jarabe de glucosa hidrogenado	0.3-0.8	Hidrólisis de la sacarosa Hidrogenación del hidrolizado de almidón, su composición es altamente dependiente de la fuente de extracción (contenido de sorbitol, manitol y oligosacáridos hidrogenados)

La sacarosa se encuentra en forma amorfa o cristalina, además del dulzor que imparte, es altamente soluble en agua y en otros solventes polares, por la diversidad de sus propiedades, las cuales se enlistan a continuación, es ampliamente utilizada en la industria de la confitería (Baler, 1990).

1) Solubilidad y punto de fusión. Una de las más importantes propiedades físicas de la sacarosa es su solubilidad en agua. Muchos de los procedimientos para elaborar dulces, involucra la disolución y la subsecuente recristalización del azúcar.

Bajo condiciones atmosféricas estándar de presión y temperatura (20°C) y (1 Atm), 1kg de azúcar, se disuelve completamente en 0.5 kg de agua, lo cual se conoce como solución estándar. La solubilidad de la sacarosa depende de la temperatura del agua que se utiliza como disolvente, al incrementarse la temperatura del agua, aumenta la solubilidad del azúcar.

- 2) Punto de ebullición. Que depende de la proporción en la solución de sacarosa/ agua. Por ejemplo a 1 atmósfera de presión, el punto de ebullición de una solución estándar es de 104°C. En condiciones de vacío, el punto de ebullición disminuye.
 - 3) Refracción de la luz. Las soluciones de sacarosa refractan la luz en proporción a la cantidad de sacarosa contenida, esta propiedad se utiliza para determinar la densidad con respecto al índice de refracción. Para las soluciones de sacarosa se utiliza la escala Brix, la cual indica el porcentaje del peso de la sacarosa en solución (Minifie, 1982).
 - 4) Recristalización. Originado por el enfriamiento de soluciones sobresaturadas de azúcar, propiedad indispensable para la elaboración de caramelos.
 - 5) Tamaño del cristal. De acuerdo al tamaño del cristal, éste puede precipitar en la solución sobresaturada de sacarosa si alcanza diámetros de 0.025 a 0.051 mm (Pennington y Baker, 1990), modificando las características texturales.
 - 6) Comportamiento reológico. La sacarosa en solución presenta comportamiento newtoniano, lo cual tiene mucha importancia en diversas aplicaciones, incluyendo el producto terminado y usos en ingeniería.
 - 7) Hidrólisis. La reacción de la sacarosa con agua, ya sea en un medio ácido o por acción enzimática, produce una molécula de glucosa y otra de fructuosa. Esta reacción se acelera con la temperatura y al disminuir el pH, se trata de una reacción endotérmica con energía de activación de 25.9 kcal a 20°C.
 - 8) Descomposición térmica. Al calentar la sacarosa por arriba de los 200°C, se descompone rápidamente en glucosa y fructuosa, produciendo una mezcla soluble en agua llamada caramelo, de sabor no dulce y color café oscuro.
- En el Cuadro 1.6 se resumen algunas de las propiedades más importantes de las soluciones de sacarosa.

Cuadro 1.6 Propiedades de la sacarosa (Cakebread, 1981; Minifie, 1982; Pennington y Baker, 1990; Baler, 1990)

°Brix	P. congelación °C	P. ebullición °C	Tensión superficial N/m ²	Viscosidad Pa s
0	-	-	1.52E-01	1.00E-03
10	0.61	0.15	1.53E-01	1.50E-03
15	1.01	0.25	1.55E-01	1.75E-03
20	1.50	0.40	1.57E-01	2.00E-03
30	2.6	0.70	1.59E-01	4.00E-03
40	4.5	1.20	1.61E-01	6.00E-03
50	-	2	1.63E-01	33.00E-03
60	-	3	1.65E-01	60.00E-03
70	-	5	1.67E-01	480.00E-03

La sacarosa es utilizada en la industria alimentaria, petroquímica, textil, química y del papel. Dentro de la industria de la confitería, la sacarosa tiene mucha importancia, debido a sus variadas aplicaciones y funciones, tales como (Salunkhe y Deshpande, 1991):

- 1.- Incrementa: dulzor, presión osmótica, viscosidad, punto de ebullición y retención de humedad.
2. - Realza el sabor y apariencia (imparte claridad y brillo).
3. - Imparte plasticidad.
4. - Ayuda a la emulsificación y desarrollo del color.
5. - Provee calorías.
6. - Afecta la solubilidad de otros ingredientes.
7. - Se difunde en frutas y hortalizas.
8. - Disminuye el punto de congelación.
9. - Puede fermentarse, cristalizarse y controlar el tamaño del cristal.
10. - Influye sobre las características texturales.

1.3 ÁCIDO CÍTRICO

Los ácidos orgánicos fueron estudiados originalmente por Cruess e Irish (1932), por su influencia como preservativos de los alimentos. El ácido cítrico y sus sales, han sido investigados desde 1950 por sus efectos inhibitorios de microorganismos y por su estrecha relación e influencia como agente regulador del pH (Branen *et al.*, 1990; Nagy *et al.*, 1987).

El ácido cítrico es un ácido orgánico, hidroxitricarboxílico, comestible, aislado a partir de jugo de limón o por fermentación del jarabe de glucosa. Existe en estado libre o en forma de sal en todas las células de numerosos frutos, bayas, en partes de muchos vegetales y en diversos alimentos de origen animal (Ulrich, 1981). El ácido cítrico puro es una sustancia cristalina, inodora e incolora, de sabor ácido. Comercialmente se encuentra en forma anhidra (polvo fino muy soluble) y también como monohidratado (molécula de agua cristalizada) (Lewis, 1989; Davidson, 2001; Doores 1990).

Los ácidos orgánicos pueden encontrarse como: 1) Componentes naturales de un alimento, 2) Cuando el ácido no forma parte natural de alimento, pero se agrega en pequeñas cantidades y 3) El ácido ha sido añadido para desarrollar alguna propiedad funcional específica en el alimento.

El ácido cítrico tiene propiedades electrolíticas, es muy soluble, 50% en agua y 35-40% en alcohol y éter (Ulrich, 1981; Lewis, 1989).

Es más higroscópico que otros ácidos orgánicos (adípico o fumárico) y puede producir problemas de almacenamiento de productos en polvo.

Es un acidulante, que contribuye en diversas propiedades funcionales que determinan la calidad del alimento. Se utiliza por su sabor y acidez, capacidad de sinergismo, como antioxidante, agente quelante de minerales esenciales e iones metálicos, tiene una acción estimuladora e inhibitoria de las reacciones de oxidación y oscurecimiento, estabilizante del color, reductor de la turbidez, modifica las propiedades de fusión, aumenta la gelificación, influye en el poder emulsificante, agente dispersante y secuestrante, corrector de sabor, tiene efecto como nutriente o suplemento dietético (sales de citrato de calcio y citrato de manganeso) (Branen *et al.*, 1990) y agente antimicrobiano. Al combinarse con otros procesos de preservación (cocción, refrigeración, congelación, etc.) puede extender por periodos indefinidos la vida de anaquel, permite la estabilización del alimento y tiene el mayor efecto reductor del pH al compararse con otros ácidos orgánicos (Ulrich, 1981; Branen, 1990; Davidson, 2001); sin embargo se ha encontrado que si las dispersiones se realizan deficientemente, se producen problemas en la concentración del sabor en dulces (Cakebread, 1981).

En el Cuadro 1.7, se muestran algunas de las aplicaciones del ácido cítrico en los alimentos.

Cuadro 1.7 Aplicaciones más comunes del ácido cítrico en alimentos
(Lewis, 1989; Ulrich, 1981; Cakebread, 1981).

FUNCIÓN	APLICACIÓN	CONCENTRACIÓN %
Texturizante, evita adhesividad	Productos de panificación y mezclas para pasteles	0.25
Acidulante y saborizante	Bebidas no alcohólicas	0.2
Texturizante, saborizante	Cereales para desayuno	0.007-0.6
Plastificante, texturizante, emulsificante, aumenta punto de fusión.	Queso	0.013-0.4
Acidificante y saborizante	Goma de mascar	0.5
Estabilizante, acidificante	Condimentos y salsas agrídulces	0.084-9.0
Estabilizante, gelificante	Lácteos análogos	0.8
Antioxidante	Grasas y aceites	0.5
Emulsificante, saborizante	Helados	0.004-0.005
Controlador de acidez, gelificante	Gelatina y pudines	0.2- 0.8
	Cereales	0.6
Espesante, saborizante	Gravies y salsas	0.1-3.0
Acidulante	Caramelos	0.15- 6.9
Sustituto de ácidos, gelificante, acidulante	Jaleas y mermeladas	0.12-2.6
Acelerador del curado	Carne deshidratada, carne fresca de cerdo y pollo	0.005-0.6
Emulsificante	Embutidos	
Acidulante	Jugos de frutas	3.5
	Botanas	0.16- 1.3
Acidulante	Fondant	0.2- 3.0
Estabilizante	Sopas	0.05
Estabilizante, acidulante	Salsas dulces	0.05-0.15
	Papas instantáneas	
	Vino	
Adhesividad, plastificante	Películas poliméricas, resinas	
Lubricante	Superficies de empaque	
Estabilizante	Emulsiones	
	Claras de huevo deshidratadas	0.25
Disminución de pH	Diversos alimentos	
Reductor de requerimientos de calor	Misceláneos, lácteos	
Corrector de sabor y aromatizante	Leche ácida, coles fermentadas, levadura, vinagre, lácteos.	

1.4 HIDROCOLOIDES

El término de “goma”, se refiere a una palabra derivada del idioma egipcio “qemai o kami”, que quiere decir exudado de la planta *Acanthus* (Glicksman, 1989). Las propiedades adhesivas de estas sustancias son conocidas desde hace miles de años, pero su aplicación se remonta a la época de las cavernas como adhesivos para las pinturas rupestres (materiales gomosos, frutos triturados, leche y huevo). Los egipcios, ya utilizaban adhesivos para decoraciones, pero hacia 3000 a 2000 A.C., utilizaron la goma arábica y otras gomas para embalsamar a las momias.

Se tiene registro que hacia los primeros años de nuestra era, se utilizó el algarrobo en las dietas del Cercano Oriente y que en la época de Confucio de 600 a 800 D.C, se utilizaron las algas y las gomas extraídas a partir de éstas para incluirlas en la preparación de algunos alimentos; pero no fue, si no posterior a la Segunda Guerra Mundial, que se comenzó a unificar el criterio de la aplicación y significado de la palabra “goma” (Glicksman, 1989).

El término de “goma”, se utilizó de forma indiscriminada, para nombrar a diversos materiales, tales como: chicle, látex, resina, caucho, copal, etc. Actualmente los términos de gomas, coloides hidrofílicos, hidrocoloides, mucílagos y polímeros solubles en agua, son algunas de las designaciones para materiales que tienen la habilidad de espesar o gelificar sistemas acuosos. Estos materiales primero fueron encontrados en los exudados de árboles y arbustos, extractos de plantas o algas, harinas de semillas o granos, sustancias gomosas producidas por procesos de fermentación y otros productos naturales.

Actualmente las “gomas”, se dividen en dos categorías, las solubles y las insolubles en agua. Las “gomas” solubles en agua, se han designado científicamente como hidrocoloides o coloides hidrofílicos. Los hidrocoloides son sustancias generalmente poliméricas, capaces de interactuar con agua y formar sistemas coloidales. Los sistemas coloidales se caracterizan por ser sistemas bifásicos que se distinguen por sus propiedades tales como: difusividad lenta, una mayor superficie con respecto al volumen del radio de la partícula, movimientos Brownianos, habilidad para dispersar la luz o fenómeno Tyndall, alta energía interfacial y alta capacidad de adsorción. Debido a estas características, los hidrocoloides imparten distintas propiedades (viscosidad, textura,

aparición, comportamiento reológico, etc.) a los alimentos durante y posterior a su procesamiento (Graham, 1989).

Existen varias formas de clasificar a los hidrocoloides, de acuerdo a su categoría, fuente de extracción, a su funcionalidad, a la concentración en las que se utilizan y por su estructura. En los siguientes cuadros, se representan las diversas clasificaciones de los hidrocoloides.

Cuadro 1.8 Clasificación de los hidrocoloides por categoría (Smith, 1993).

CATEGORÍA	EJEMPLOS
1. Almidones	Crudo, pregelatinizado, modificado
2. Celulosa y sus derivados	Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, hidroximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa,
3. Extractos de algas	Alginatos, carrageninas, agar, furcellarana
4. Exudados de plantas o gomas	Arábica, karaya, tragacanto
5. Gomas de semillas	Guar, algarrobo
6. Extractos de plantas	Pectinas
7. Gomas microbianas	Xantana, dextrana, gelana y curdlana

Cuadro 1.9 Clasificación de los hidrocoloides por fuente de extracción (Glicksman, 1989; Pomeranz, 1994).

FUENTE DE EXTRACCIÓN	HIDROCOLOIDE
EXUDADOS	Arábica, tragacanto, karaya, ghatti
EXTRACTOS DE ALGAS	Agar, alginatos, carragenina, furcellarana
EXTRACTOS DE PLANTAS	Pectina, arabinogalactana
EXTRACTOS DE ANIMALES	Gelatina, albúmina, caseína
HARINAS DE SEMILLAS	Guar, algarrobo, psiliumina, goma de membrillo, goma de tamarindo.
HARINAS DE GRANOS	Almidón, celulosa microcristalina
BIOSÍNTESIS O FERMENTACIÓN	Dextrana, xantana, curdlana, gelana, scleroglucana, pululana
MODIFICADOS	Derivados de la celulosa, carboximetilcelulosa, metilcelulosa, hidroximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, almidones modificados, pectinas de bajo metoxilo, alginato de propilenglicol
SINTÉTICOS	Polivinilpirrolidona (PVP), polímeros carboxivinílicos, polímeros oxido polietilénicos

Cuadro 1.10 Clasificación de los hidrocoloides por funcionalidad (Barbosa-Cánovas y Ma, 1993; Charalambous y Doxastakis, 1989; Glicksman, 2000; Graham, 1989; Smith, 1993, Stephen, 1995;).

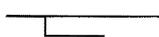
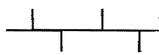
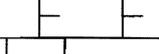
	FUNCIONALIDAD	APLICACIÓN	HIDROCOLOIDE
PRIMARIA	Viscosidad	Salsas, gravies, rellenos de pays	Tamarindo, pectina, arábiga, tragacanto
	Gelificación	Jaleas, pudines, cárnicos	Carragenina, agar, xantana, tamarindo, gelatina
	Estabilidad de emulsiones	Aderezos, bebidas suaves	Carragenina, tragacanto, pectina, alginatos, dextrana, xantana, tamarindo
	Formación de películas Encapsulado	Salsas para cubiertas Sabores en polvo	Dextrana Arábiga
SECUNDARIA	Agente de cubierta Inhibición de la cristalización	Confitería Helados, jarabes	Dextrana Carragenina, dextrana, karaya
	Ayudante de la floculación	Vinos	Arábiga
	Estabilizante de espumas	Cerveza, cubiertas, Bebidas	Dextrana Xantana
	Agente suspensor Protector de coloides	Leches saborizadas Emulsiones saborizadas	Carragenina, Arábiga, dextrana, xantana

Cuadro 1.11 Clasificación de los hidrocoloides por la concentración en que se aplican (Phillips *et al.*, 1985).

GRUPO	HIDROCOLOIDE	CONCENTRACIÓN CRÍTICA	
		ppm	%
1	Goma de Tragacanto	0.3	0.000003
	Mex Pectina 1400	0.5	0.000005
	Metilcelulosa	0.6	0.000006
	Mex Pectina 1100	3	0.0003
	Goma de Algarrobo	30	0.003
	Goma Guar	30	0.003
2	Goma Xantana	40	0.004
	Dextrana T-2000	600	0.06
	T-500	1500	0.15
	T-70	2000	0.20
	T-40	10000	1
	Arabinogalactana	30000	3

Las concentraciones del grupo 1 están por debajo del intervalo que incrementa la viscosidad, lo cual explica el aumento de la estabilidad. Las concentraciones del grupo 2, se encuentran en el intervalo que incrementa la viscosidad, producido por el desarrollo de las altas concentraciones del hidrocoloide (Phillips *et al.*, 1985).

Cuadro 1.12 Clasificación de los hidrocoloides por su estructura (Smith, 1993).

ESTRUCTURA	HIDROCOLOIDE
Lineal 	Celulosa, hemicelulosa, pectina, carragenina, alginato, agar
Ramificación simple 	Dextrana
Substitución lineal 	Algarrobo, goma guar
Enramado 	Amilopectina, goma arábica

Durante la Segunda Conferencia Internacional sobre la Aplicación de Hidrocoloides (1983), se establecieron algunos aspectos importantes de los mismos, tales como: usos en alimentos, comportamiento reológico, funcionalidad y especificidad para aplicaciones determinadas. Como características básicas se consideraron: solubilidad en agua, configuración, carga eléctrica, habilidad de formar enlaces de hidrógeno, reducción en la movilidad de agua, comportamiento que resulta en el decremento o reducción de la fluidez o incremento de la viscosidad (Phillips *et al.*, 1985).

Los hidrocoloides son aplicados en la producción y control de materias primas, para otorgar cualidades y características específicas, que determinan el consumo de los alimentos por la amplia variedad de funcionalidades técnicas que imparten: agentes dispersantes, emulsificantes, formadores de películas, coagulantes, estabilizantes, incrementadores de la viscosidad, espesantes, gelificantes, texturizantes, interacciones con otros componentes y estabilizantes de las condiciones de procesos, entre otras (Charalambous y Doxastakis, 1989).

Los requerimientos funcionales específicos de los productos, hace que la selección de los hidrocoloides algunas veces sea determinada de manera paralela a la línea de producción, de tal manera que las formulaciones mantengan características similares a la que tendría el producto de origen, durante las distintas etapas del proceso. En otros casos, los hidrocoloides pueden utilizarse para simular ciertas propiedades de fluidez, con

la finalidad de establecer las condiciones de tiempo y temperatura de proceso (Phillips *et al.*, 1985).

Otros aspectos importantes a considerar para elegir el tipo de hidrocoloide que se va a utilizar son: los ingredientes alimenticios que no interactúan con los hidrocoloides y que influyen en sus propiedades funcionales, algunas interacciones que involucran la unión directa de ingredientes alimenticios e hidrocoloides que afectan las propiedades funcionales (Smith, 1993); calidad, consistencia, proveedor, precio, concentración, estabilidad ácida, estabilidad a altas temperaturas, etc. (Khan, 1993).

De manera específica en la industria de la confitería, se utilizan los hidrocoloides por sus propiedades funcionales, principalmente su influencia en la viscosidad, facilitando el manejo en sistemas o formulaciones con altos contenidos de sólidos (85% o más). En los productos de muy altos niveles de azúcar, se economiza el uso de materias primas, por la sustitución parcial o total de éstas con hidrocoloides (Smith, 1993).

En el Anexo A, se resumen las aplicaciones más importantes de los principales hidrocoloides utilizados en la industria alimenticia, reportados en la literatura.

1.5 DEXTRANA

Las dextranas fueron los primeros polisacáridos de origen microbiano, científicamente investigados e industrialmente utilizados y producidos.

En 1813, Pasteur descubrió que el agente responsable de una misteriosa e indeseable formación o presencia de masas gelatinosas (cieno) en jarabes, durante la elaboración de alimentos o bebidas que contenían sacarosa, era debida a la acción de microorganismos en sustratos de sacarosa. En 1878, Van Tieghern denominó al microorganismo responsable de estas formaciones como: *Leuconostoc mesenteroides* (Charalambous y Doxastakis, 1989).

La dextrana es un polisacárido de origen microbiano, neutro de cadena larga, cuya estructura es de ramificación simple (Smith, 1993). Es un homopolisacárido (producido mediante procesos de fermentación bacteriana) de alto peso molecular. Las dextranas se desarrollan de forma natural en soluciones de sacarosa que han sido contaminadas con bacterias productoras de dextrana, a partir de la tierra, del aire o de plantas (Charalambous y Doxastakis, 1989).

Es un polisacárido de importante uso comercial, no gelificante, es un emulsificante que genera emulsiones estables durante prolongados tiempos de almacenamiento, además que este producto representa algunos problemas en muchas operaciones como consistencia gelatinosa e impacto en la viscosidad (Pennington y Baker, 1990).

El término de dextrana, se utilizó para describir el material viscoso formado en los jugos de azúcar de remolacha y otros productos cuya base es el azúcar. Scheibler, determinó que este cieno o material viscoso era glucana, un carbohidrato con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_x$, teniendo una rotación óptica positiva. La estructura de este compuesto era cercana al almidón y a la dextrina, de donde se extrajo su nombre "dextrana" (Charalambous y Doxastakis, 1989).

Posteriormente, se encontró que la dextrana puede ser sintetizada por muchos microorganismos (96) a través de distintas fuentes, tales como cerveza de raíz ultrapasteurizada, vino casero, duraznos enlatados, jugos concentrados congelados, sacarosa de curación de jamones y diversos vegetales (Charalambous y Doxastakis, 1989). Dentro de los microorganismos principales que sintetizan dextrana, se encuentran: género *Leuconostoc mesenteroides* y "*dextranicum*", *Streptococos*, *Lactobacterias* y *Acetobacter*, así como otras bacterias que son capaces de producir diversos materiales de dextranas; sin embargo la característica predominante es la sacarosa como la única fuente de carbohidrato, para la producción del polisacárido. Los factores que determinan las propiedades del polisacárido son la variedad de la bacteria, las cuales tienen la habilidad de mutar para extender las ramificaciones en los polisacáridos, provocando cambios en estos últimos.

La designación de la dextrana como: NRRL B-512(F) (Northern Regional Utilization Research Development Division of the United States Department of Agriculture), fue dada por el desarrollo particular del sustrato de un tipo de microorganismo (Neely, 1992). Los tipos de dextrana se clasifican de acuerdo a su peso molecular. En el Cuadro 1.13 se exponen los tipos dextrana en relación a su peso molecular y concentración crítica (Phillips *et al.*, 1985).

Cuadro 1.13 Tipos de Dextrana (Phillips *et al.*, 1985).

TIPOS DE DEXTRANA	CONCENTRACIÓN CRÍTICA	
	ppm	%
Peso molecular X 10 ⁵ daltons	600	0.06
AltoT-2000	1500	0.15
Alto T- 500	2000	0.20
Bajo T- 70	10000	1.0
Bajo T- 40		

La dextrana es soluble en agua fría o caliente, produce disoluciones viscosas y claras, estables incluso a temperaturas de esterilización, lo que se debe a su bajo grado de ramificaciones; químicamente inertes, compatibles con los ingredientes más utilizados en la industria de alimentos, insaboro, rotación óptica alta y específicamente positiva, con propiedades emulsificantes y estabilizantes, humectante y retensor de agua, imparte textura y cuerpo a los líquidos alimenticios, exhibe características plásticas. Fisiológicamente, al ser ingerido, se hidroliza lentamente en carbohidratos. Aunque aumenta modestamente las sustancias que reducen el glucógeno en sangre e hígado, se sugiere su utilización en dietas bajas en calorías (Dickinson y Walstra, 1993).

Las dextranas NRRL B-512(F), han sido sintetizadas en Estados Unidos de América, Canadá, Holanda, Suecia y a partir de diferentes variedades han sido producidas en Japón y Rusia (Charalambous y Doxastakis, 1989).

Beijerink y Hehre, demostraron que el primer producto de la fermentación bacteriana es la enzima del organismo productor (dextranosacarasa). La enzima es la parte activa-externa de las células bacterianas.

La dextrana se produce por vía microbiana (método mayormente utilizado a en la producción industrial a gran escala) o bien por síntesis, utilizando el extracto enzimático libre de la célula (método que es industrialmente viable). La dextrana se va formando gradualmente, el medio se espesa en forma de masa viscosa y la viscosidad alcanzada es la máxima, es entonces cuando se ha alcanzado la máxima producción.

La dextrana se precipita con metanol, etanol o acetona, obteniéndose así un precipitado blanco-gomoso que después se somete a un secado y pulverización, formando un polvo que va desde una coloración blanca o ligeramente amarillenta.

Los parámetros que influyen en el tipo de dextrana que puede obtenerse son: 1.- Especie de microorganismo, 2.- pH óptimo de la síntesis, 3.- Tiempo de incubación, 4.- Forma de incubación y 5.- Composición del medio de cultivo (Charalambous y Doxastakis, 1989). La estructura básica de un fragmento de la cadena de la dextrana, formada por unidades de glucosa con enlaces α 1-6 y ramificaciones en los enlaces α 1-3, se exhibe en la Figura 1.2

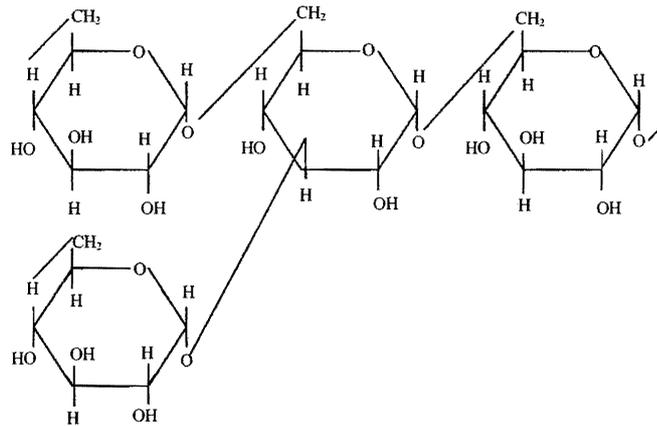


Figura 1.2 Estructura Básica de un Segmento de Dextrana
(Charalambous y Doxastakis, 1989).

Entre las principales aplicaciones que tiene la dextrana se encuentran las siguientes:

- 1) Medicina: Extensa aplicación industrial y medicina (plasma sanguíneo).
- 2) Panificación: Pequeñas cantidades (0.01-10%) añadida en la levadura cuando ya se ha incrementado su volumen, para masas y panes: imparte mayor vida de anaquel, aumento de volumen, absorción de agua, extensibilidad y suavidad del gluten, plasticidad, trituración y maleabilidad (Glicksman, 1989).

Al mezclar dextrana, azúcar, agua y aceite, se obtiene una pasta moldeable para la elaboración de conos para helados (Charalambous y Doxastakis, 1989).

3) Bebidas: Sustitución del 10-20% de la malta para la elaboración de cerveza (Hamburg, 1984), impartiendo mejoras en el sabor y estabilidad de la espuma, no altera el color.

Estabilizante de bebidas de chocolate, elaboradas con leche (Glicksman, 1989).

Estabilizante de bebidas suaves y extractos de sabores (Glicksman, 1989).

Inhibe o evita la recristalización de azúcar de jarabes de azúcar (Glicksman, 1989), estabiliza, incrementa la viscosidad, contribuye a impartir cuerpo en bebidas bajas en calorías y que no contienen azúcar.

4) Confitería: Amplia aplicación en todos los alimentos que contienen azúcar, ya que previene la cristalización, imparte cuerpo, retención de humedad, mantiene el sabor y la apariencia. Se utiliza en la fabricación de dulces, fondants, jaleas y frutas enlatadas (Glicksman, 1989). Fortalece el dulzor, olor, sabor y aumenta la palatabilidad de jarabes de frutas (Charalambous y Doxastakis, 1989).

Los licores de dextrana añadidos a jarabes de sacarosa, son utilizados para elaborar jarabes de alta viscosidad y que no se recristalizan (Glicksman, 1989).

La dextranosacarosa, se utiliza para convertir las soluciones enzimáticamente en sacarosa, con la finalidad de incrementar la viscosidad de almíbares y jarabes; aumentando el dulzor, olor y sabor. La viscosidad puede controlarse por las condiciones de reacción, mediante la adición de la enzima (Corman *et al.*, 1986).

5) Conservativo: Se utiliza para gran variedad de alimentos, para evitar que se resequen durante su almacenamiento y para protegerlos contra el deterioro por la exposición al aire y oxidación.

Conservador como película para camarones, cárnicos, frutos deshidratados y quesos (Glicksman, 1989).

Se emplea en soluciones acuosas con antibióticos utilizados como conservadores de películas para alimentos congelados, pescados y espinacas (Glicksman, 1989).

En piezas de pollo, se utiliza para protegerlas contra la deshidratación y oscurecimiento de la piel, durante el almacenamiento en fresco (Glicksman, 1989).

Para aceites cítricos emulsificados en gelatina, previene la decoloración y protege contra la insolubilización de la gelatina (Glicksman, 1989).

6) Misceláneos: Acondicionador de gomas de mascar, estabilizante en helados, congelados y cremas sintéticas. Puede utilizarse para sustitución parcial de gomas, tales como: arábica, karaya, algarrobo, tragacanto y alginatos (Glicksman, 2000).

1.5.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS

Algunos estudios han demostrado que la viscosidad de disoluciones de dextrana se ve afectada íntimamente con la concentración y el peso molecular, exhibiendo dos regiones, la primera es lineal, la cual se encuentra en bajas concentraciones (menores a 0.1%) y la no lineal, debida a altas concentraciones (mayores al 1.0%) (Simeone, *et al.*, 2002).

Los resultados de los experimentos demuestran:

a) La viscosidad se incrementa al utilizar altas concentraciones, como se ha comprobado para el caso de la dextrana T-500 (alto peso molecular), que produce una emulsión más rápida que la dextrana T-40 (Bajo Peso molecular) (Dickinson y Walstra, 1993).

b) Las soluciones de dextrana tienen una innegable elasticidad a concentraciones relevantes (mayores a 0.2%), en tanto que las bajas concentraciones (menores de 0.1%) no tienen efecto directo en la elasticidad, debido a que sus moléculas generan estructuras ramificadas (Simeone, *et al.*, 2002).

c) La viscosidad intrínseca aumenta al aumentar el peso molecular. Soluciones de alto peso molecular, exhiben un alto grado de pseudoplasticidad, mientras que bajos pesos moleculares presentan un comportamiento muy similar al newtoniano (Charalambous y Doxastakis, 1989). De acuerdo a lo anteriormente descrito, existen distintas investigaciones, acerca de las propiedades reológicas de disoluciones acuosas de dextrana a distintas condiciones de concentración, densidad y temperatura, entre las que podemos citar las siguientes:

1.- La dextrana a concentraciones cercanas a 2.5% en soluciones, obedecen la ley de la potencia, presentando también un comportamiento viscoelástico, dependencia ligera de la frecuencia y predominio de comportamiento elástico (Simeone, *et al.*, 2002).

2.- Disoluciones de 1% de NRRL B-512 presentan una viscosidad de 13 (mPa s) y comportamiento newtoniano, por ser un tipo de dextrana de bajo peso molecular (Charalambous y Doxastakis, 1989).

3.- Disoluciones de dextrana a concentraciones de 0-5%, evaluadas a condiciones constantes de temperatura de 50°C, presentan una viscosidad newtoniana a un intervalo de velocidad de cizalla de 0.1-100 s⁻¹ (Simeone, *et al.*, 2002).

1.6 CARRAGENINA

El uso de la carragenina, comenzó en China y se extiende desde tiempos antiguos, ésta ha sido empleada tradicionalmente para promover la gelificación de leche.

En 1937, se le nombró moho irlandés y en 1953 se aisló su estructura por medio de la precipitación con cloruro de potasio, descubriéndose dos fracciones, una gelificante llamada kappa y la otra no gelificante llamada lambda (Gliksman, 1989).

Desde hace 60 años, se ha procesado a la carragenina a escala comercial, a partir de la cosecha de algas marinas: *Rhodophyceae* (alga marina roja), *Chondrus ocellatus*, *Eucheuma cottonii*, *Eucheuma Spinosum*, *Gigartina acicularis*, *Gigartina pistillata*, *Grigartina rodula*. En algunas partes del mundo se ha especializado el cultivo de ciertas especies de algas marinas, tal es el caso de: E.U., en donde se cultiva *Chondrus crispus* o moho irlandés, en el Atlántico norte, la *Gigartina stellata*, en las costas del norte y sur de África, la *Gigartina*, en Indonesia y Filipinas tanto *Hypnea* como *Eucheuma*.

La carragenina es un término genérico de coloides de diversas clases de algas, de 7 familias. Existen 6 carrageninas idealizadas (iota, kappa, lambda, mu, nu y psi) (Mitchell y Ledward, 1986). Se le considera como un aditivo natural bajo en calorías, con actividad antiséptica y anticoagulante, lo cual depende del contenido de sulfato. Las propiedades dependen y varían de acuerdo al lote y a la especie de alga, del número de grupos sulfatos y su localización en la cadena del polisacárido, lo cual contribuye a las características gelificantes (Khan, 1993; Charalambous y Doxastakis, 1989; Mitchell y Ledward, 1986; Smith, 1993).

De manera general, todas las clases de carrageninas presentan las mismas propiedades: solubilidad en agua, influenciadas por diversos factores, tanto por la composición del polisacárido como del grado hidrofílico de la molécula, los cuales a su vez, son determinados por el número de grupos sulfato. La función del anión sulfato es mantener a la carragenina en disolución y modificar la estructura de las cadenas, a partir del enredo aleatorio de la hélice, lo cual se favorece con la disminución de estos grupos. La carragenina tiene la habilidad de formar complejos estables (Lewis, 1989). Aumenta la viscosidad, fija el agua, produce, estabiliza emulsiones y altera la textura. Tiene poco valor alimenticio, por lo cual se utiliza en productos dietéticos, ya que no se digieren. Se utilizan para elaborar dulces de bajo contenido calórico, pero su sabor es muy pobre. Las propiedades gelificantes se deben al gran tamaño de sus moléculas, las cuales pueden

formar retículos tridimensionales o geles, en los que la parte líquida de los dulces queda ocluida (Cakebread, 1981).

La diferencia entre las fracciones de carrageninas, se basa en la consideración de la solubilidad en agua en la presencia de diferentes cationes. Debido a las variaciones en la estructura química (habilidad de formar geles y estructuras helicoidales), las propiedades de las disoluciones acuosas de carrageninas, dependen del tipo de carragenina, composición del ambiente acuoso, contenido iónico, propiedades, estabilidad térmica, elasticidad y esfuerzo de cizalla.

κ-Carragenina

Peso molecular 10^5 - 10^6 d, número molecular 100-200 kd y 300-600 kd.

Se compone de D-galactosa, 3,6-anhidro-D-galactosa y grupos éster y sulfato. Unión de repetición (galactosa.4.sulfato-3-6-anhidrogalactosa).

Tiene una fuerte carga negativa en intervalos normales de pH (4-10), razón de su fuerte reactividad con polielectrolitos positivos. Pronunciada sensibilidad en casi todas en sus propiedades de medio iónico (valencia), las condiciones iónicas promueven la formación de hélices, que no siempre origina la gelificación. Las soluciones acuosas, son difíciles de estudiar, debido a su tendencia a precipitar o gelificar al congelarse (Mitchel y Ledward, 1986, Smith, 1993).

La carragenina kappa se obtiene del alga *Eucheuma cottonil* y algunas especies de *Gigartina*. Contiene polímeros híbridos con unidades kappa en su estructura primaria. La cantidad, naturaleza química, distribución de sus heterounidades, son factores que tienen influencia cercana a las estructuras ideales (heterounidades que ocurren en cada cadena o en cadenas por separado, las heterounidades se distribuyen aleatoriamente, regularmente en secuencias alternadas o en bloques) (Piculell, 1998).

λ-Carragenina

Peso molecular 10^3 - 10^6 d, número molecular 100-200 kd y 300-600 kd.

Unidad de repetición (D-galactasa-2-sulfato-galactosa-2,6-disulfato).

La Carragenina lambda, se extrae de las algas *Gigartina acicularis* y *Chondrus crispus*.

No gelifica con ningún ión, presenta estabilidad al derretimiento, al congelamiento y a los ácidos.

Soluble en agua fría, imparte alta viscosidad sin gelificar, agente espesante de suma importancia, por la adición de azúcar al 50% o NaCl 10% y no produce separación de la solución acuosa. λ -carragenina no gelifica incluso después de un tratamiento borohidratado (Mitchel y Ledward, 1986), sin embargo se ha encontrado que λ -carragenina favorece la gelificación poco pronunciada con los cationes monovalentes (K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ca^+).

La mezcla de κ y λ -carragenina, es soluble en agua a 80°C en presencia de sal de sodio a 20°C (Smith, 1993). En el Cuadro 1.14 se resumen las propiedades de kappa y lambda carragenina.

En la Figura 1.3, se presentan las estructuras básicas de un segmento de las carrageninas kappa y lambda, respectivamente.

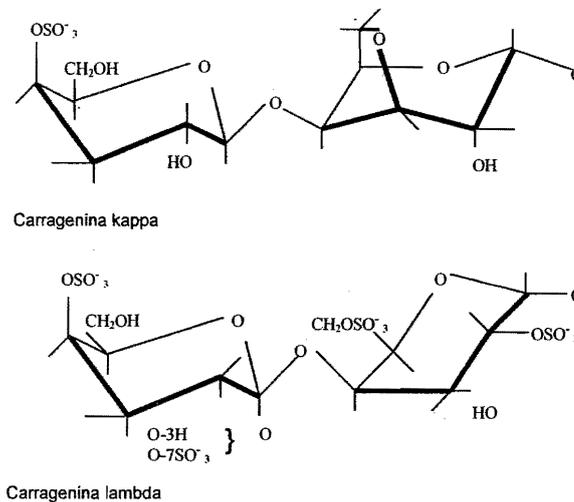


Figura 1.3 Estructura Básica de un Segmento de las Carrageninas kappa y lambda (Mitchel y Ledward, 1986)

Cuadro 1.14 Propiedades de las carrageninas kappa y lambda (Smith, 1993).

PROPIEDAD	κ	λ
Solubilidad en agua	Arriba de 70°C y Na ⁺ y NH ⁺ fría	Caliente y fría
Solubilidad en leche	Arriba de 70°C	Caliente, se hincha en fría
Solubilidad en soluciones salinas	Insoluble	Solución caliente
Solubilidad en soluciones azucaradas	Solución caliente	Solución caliente
Solubilidad en etanol	Insoluble arriba de 20%	Insoluble arriba de 20%
Otros factores que influyen la solubilidad	Aumenta al disminuir Na ⁺ , K ⁺ y Ca ²⁺	Aumenta al disminuir Na ⁺ , K ⁺ y Ca ²⁺
Solución viscosa	Baja	Alta
Intervalo pH óptimo	4-10	4-10
Intervalo de sólidos solubles	0-40%	0-80%
Condiciones gelificantes	Presencia de K ⁺ , Na ⁺ o Ca ²⁺ bajo condiciones de temperaturas bajas	No gelifica
Características del gel	Fuerte, brillante; el brillo disminuye al aumentar K ⁺ , Ca ²⁺ y disminuye al añadir goma de algarrobo	No gelifica
Textura del gel	Termo reversible	No gelifica
Condiciones de temperatura de los geles	Aumenta al disminuir Na ⁺ , K ⁺ y Ca ²⁺ y azúcar	No gelifica
Fuerza del gel	Aumenta al aumentar la concentración de K ⁺ , Ca ²⁺ y goma de algarrobo	No gelifica
Efecto en leche a pH neutro en geles	Interacción iónica, aumenta la firmeza del gel	Interacción iónica al aumentar la viscosidad
Efecto en leche y otras proteínas a pH ácido en geles	Precipitación bajo iso-pH	Precipitación bajo iso-pH
Incompatibilidad	Alcoholes solubles en agua, cetonas, detergentes cuaternarios, macromoléculas catiónicas	Alcoholes solubles en agua, cetonas, detergentes cuaternarios, macromoléculas catiónicas

El procesamiento comercial de la carragenina, consiste en la cosecha y/o cultivo de algas marinas. Las algas se revisan para remover arena y conchas, se lavan con agua caliente para eliminar sales extrañas y se producen soluciones viscosas que se filtran bajo presión con ayuda de tierras de diatomáceas. La carragenina coagula en formas fibrosas con la adición de etanol, después se somete al secado a vacío y molienda, originando un producto incoloro, inodoro e insípido (Graham, 1989).

El procesamiento por extracción alcalina caliente de las carrageninas, se efectúa por el tratamiento de las algas con agua caliente con un contenido apropiado de álcali, la

temperatura y tiempo determina el tipo de carragenina. Varias carrageninas han sido aisladas con base en su solubilidad en soluciones de cloruro de potasio, antes y después del tratamiento alcalino.

Posteriormente, se secan ya sea por el sol o de forma mecánica, obteniendo así una masa de material que se ha encogido y empaquetado. La pasta obtenida se filtra con tierras de diatomáceas o perlite, para separar la celulosa y los pigmentos. El filtrado contiene una concentración del 1.5% de carragenina disuelta, la cual puede concentrarse por evaporación al 2.5-3.0%.

En ocasiones el filtrado se mezcla con alcohol isopropílico y la carragenina se precipita en forma fibrosa; para separar el alcohol se utilizan sales solubles en alcohol o bien por examinación y exprimido. El alcohol removido se destila para reutilizarse y el coágulo húmedo de carragenina se purifica con un lavado con alcohol fresco, se repite el lavado para después secarse a vacío y obtener un polvo fino o granular.

La carragenina puede recuperarse del filtrado, añadiéndole un pequeño porcentaje (2%) de un agente disolvente (mono o diglicéridos). La mezcla se filtra por rollos sobrecalentados, para remover y luego evaporar el excedente de agua, obteniendo una película o trozo laminar de carragenina. Este proceso representa mayor contenido de sales, pero es más económico, se obtiene un polvo más oscuro, más fácil de dispersar en agua y sin la tendencia de formar grumos (Graham, 1989; Mitchell y Ledward, 1986; Smith, 1993).

Las carrageninas tienen una amplia variedad de aplicaciones, debido a que son aditivos muy versátiles utilizados en la industria de alimentos. Las principales aplicaciones son: como ligante de agua, emulsificante, extensor, agente gelificante, estabilizante, espesante, agente texturizante y organoléptico. Se utiliza en lácteos, postres gelificados (a base de agua), jaleas bajas en calorías, panificación, productos cárnicos y aves.

En concentraciones mayores de 0.3%, son utilizadas para la elaboración de flanes cocidos, natillas, rellenos a base de almidón, crema batida, malteadas y yoghurt. En postres congelados a base de leche, se recomienda concentraciones cercanas a 0.03%. La carragenina tiene la capacidad de interactuar con otros ingredientes y actúa como estabilizador secundario, en combinación con almidón y CMC, en sistemas complejos como helados y nieves.

Estabilizante y emulsificante para helados, quesos, pudines instantáneos, leches saborizadas, sustitutos de crema para café, cubiertas batidas.

Agente gelificante: raspados, postres de gelatinas y polvos, jaleas bajas en calorías, salsas agrídulces, salsas, productos cárnicos con bajo contenido de grasa, alimento enlatado para mascotas.

Otros usos: cosméticos, farmacéuticos, suspensiones industriales y pinturas de diversas características (Charalambous y Doxastakis, 1989).

κ-Carragenina

Soluciones a concentraciones por debajo de 3% en ausencia de iones, promueven la formación de geles y son muy viscosas. A mayores concentraciones, en presencia de iones forma geles termoreversibles (estructuras ligadas y cruzadas para construir una cadena continua) (Khan, 1993).

Se utiliza como agente gelificante y espumante. La carragenina kappa puede exhibir diferentes grados de sinergismo (Smith, 1993).

Usos: postres lácteos (geles, flanes, natillas, leches saborizadas y helado), productos cárnicos y alimento para mascotas (Piculell, 1998).

λ-Carragenina

A concentración de 0.2% imparte cuerpo, consistencia y palatabilidad (Piculell, 1998). Tiene la habilidad de formar soluciones estables, se aplica en aderezos para ensaladas y salsas. No forma geles y se utiliza para espesar o como estabilizante de leche fría (Charalambous y Doxastakis, 1989).

No se recomienda utilizar mezclas de κ y λ -carragenina en alimentos con valores bajos de pH.

Las aplicaciones generales de las carrageninas, se dividen en dos categorías (Graham, 1989)

1) Para bases lácteas.

Helados de crema: Estabiliza y controla la formación de cristales, textura y vida de anaquel. Se utiliza de acuerdo al tipo de helado y al contenido de grasa, en concentraciones de: 3-12% y 0.001-0.003% del producto terminado.

Se utiliza kappa carragenina, para productos de altos contenidos de grasa, pH = 3-4 y para prevenir la formación de cristales en forma de pluma en helados.

Lambda carragenina, se utiliza en concentraciones de: 0.2-0.5% para helados de bajas calorías, además de impartir palatabilidad y cuerpo.

2) Para bases acuosas.

- Jaleas bajas en calorías. Son del tipo que contienen la mitad de azúcar o bien contienen otro edulcorante. Se añaden carrageninas de bajo metoxil (65%), lo cual disminuye el grado de sinéresis. Para estos fines, se utiliza una combinación de carragenina kappa-iota.
- Alimentos para mascotas (0.2-0.5%). Imparte cuerpo a la salsa.
- Gelatinas de pescado: kappa-iota (0.5-1.0%), para empaque y preservación de pescado, conservando el sabor.
- Jarabes: Para diluirlos (0.3-1.0%). Imparte solubilidad en agua fría o caliente, evita la formación de geles, facilita el bombeo, la miscibilidad y dilución. Se utiliza lambda, por su habilidad para suspender partículas, facilitando el envasado en caliente, evitando la gelificación (0.05%); sin embargo, no es tan económica como kappa.
- Polvos de frutas y concentrados congelados. Kappa y lambda (0.2-0.5%), proveen cuerpo y palatabilidad, kappa induce estabilidad al empacar.
- Salsas de pizza, barbacoa y salsa agrídulce: kappa-iota (0.5%), tienen mayor estabilidad para pH bajos.
- Leche de imitación: iota-lambda (0.05%), utilizando grasa vegetal imparte estabilidad y cuerpo a la emulsión.
- Cremas vegetales: lambda (0.1-0.2%). Estabiliza la emulsión, la congelación y evita el derretimiento.
- Cubiertas batidas artificiales: Se recomienda utilizar mezclas de carrageninas kappa-iota, por sus efectos estabilizantes, gelificantes y texturizantes.

1.6.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS

El tipo y concentración de uno o varios aditivos pueden tener efecto en el comportamiento reológico de las carrageninas; sin embargo, implican pocos cambios en el nivel molecular, produciendo modificaciones en la estructura química como el rompimiento de hélices, especialmente en la κ -carragenina en su forma iónica, lo cual depende del tipo de alga, tratamiento químico y métodos de purificación (Graham, 1989).

En las carrageninas de bajo peso molecular, la viscosidad aumenta de forma cercana a la lineal de acuerdo a la concentración, se presenta un comportamiento no newtoniano al aumentar el peso molecular y exhiben un decremento exponencial de la viscosidad al enfriarse. En tanto que las disoluciones de carragenina utilizadas para espesar, muestran un aumento exponencial de la viscosidad al aumentar la concentración.

Las propiedades de flujo se requieren para diferenciar entre los estados de sol y gel, lo cual depende del tipo y concentración de sales. A temperaturas por arriba de 75°C, se evita la gelificación.

La carragenina en disolución, se utiliza a concentraciones del 1.5%. Para determinar su viscosidad, se recomienda evaluarla a temperatura ambiente (25°C) en viscosímetros rotacionales; sin embargo, experimentalmente se han obtenido valores de viscosidad de 5-800 (mPa s) para concentraciones de 1.5% y a temperaturas de 75°C. Valores de viscosidad de disoluciones de carragenina menores a 100 (mPa s), presentan un comportamiento cercano al newtoniano, la viscosidad se incrementa de acuerdo a la concentración y al peso molecular. Se han determinado también propiedades pseudoplásticas y dependientes del cizallamiento a una velocidad de cizalla específica.

Las disoluciones son más estables a pH neutros o alcalinos, incluso a temperaturas elevadas. Al disminuir el pH, disminuye la viscosidad y el potencial gelificante, originado por la hidrólisis de uniones glicosídicas (esto último se acelera al aumentar la temperatura y disminuir el pH). Presentando también comportamiento viscoelástico, de tal manera que el módulo elástico de disoluciones libres de sales de diferentes formas catiónicas, presentan dependencia de la concentración, asimismo el módulo elástico aumenta al disminuir la temperatura de sistemas libres de sales (Smith, 1993).

κ-Carragenina

Con peso molecular $3E+04$ (no forma geles), el módulo elástico aumenta cuando el peso molecular es $2E+05$. El esfuerzo de cizalla aumenta linealmente con peso molecular $\leq 8E+05$. Presenta mayores módulos elásticos, al aumentar la concentración de sales. Los valores de viscosidad intrínseca de soluciones de kappa-carragenina varían de acuerdo con la fuerza iónica, concentración y peso molecular.

λ-Carragenina

Imparte viscosidad con límites predeterminados.

La mezcla en polvo κ y λ -carragenina, aumenta de manera importante los valores de viscosidad (Graham, 1989; Piculell, 1998).

1.7 REOLOGÍA

Los comienzos de la mecánica de sólidos y fluidos, fueron desarrollados en los siglos XVII y XVIII, con lo que se trazan los orígenes de la reología. El estudio de la reología se basa en los trabajos de Robert Hooke en el periodo de 1660-1676, quien enunció el principio de la deformación elástica de los sólidos (sólido de Hooke) e Isaac Newton en 1687, quien definió el término de fluido newtoniano, ambos fueron los primeros en sentar las conexiones cuantitativas entre las fuerzas y las deformaciones (Bourne, 1982). Los principios de la dinámica fueron desarrollados por Leonhard Euler en el año de 1755; en tanto que Navier desarrolló teorías de flujo de fluidos en 1821, complementadas por Stokes en el año de 1845. Cauchy en 1827, sentó las ideas esenciales de la matemática tensorial para el manejo de la deformación y esfuerzo. Con los trabajos en seda de Wilhelm Weber en 1835, se estableció la diferencia de la elasticidad después del efecto previamente observado como elástico o plástico en metales, marcando el punto de partida del estudio de la viscoelasticidad. En realidad, el surgimiento de la reología como un campo separado ocurrió en 1929, cuando el comportamiento mecánico de importantes materiales industriales (caucho, plástico, arcilla, pinturas y muchos fluidos biológicos) comienzan a tener un incremento en la atención de los campos de la física, mecánica y matemáticas, en adición al interés tradicional de la química de coloides (Tanner, 2000; Barnes *et al.*, 1989).

El Dr. George Scott en el periodo de 1930-1950, fue uno de los fundadores en la aplicación de la reología en los alimentos, por lo que es considerado como el padre la misma (White, 1970). El conocimiento y estudio del comportamiento y parámetros reológicos de los alimentos, se iniciaron hace pocas décadas en el ámbito científico y tienen en la actualidad una importancia fundamental en la investigación básica, aplicación práctica e industrialización de alimentos (Alonso *et al.*, 1990); son de suma utilidad en el diseño y manejo de sistemas, control de calidad y evaluación sensorial de estímulos asociados con evaluaciones orales o no orales de la viscosidad (Rao, 1992).

El término de reología fue inventado por Bingham y su asociación del Colegio Lafayette en 1929, la raíz griega "rheo", implica flujo (White, 1970).

La reología es una parte las ciencias físicas, que estudia la deformación y flujo de los materiales cuando son sometidos a fuerzas a través de las variables: deformación, fuerza

y tiempo. Los principales conceptos teóricos en los que se basa son: cinemática (aspectos geométricos de la deformación y el flujo), leyes de la conservación (fuerzas, esfuerzos e intercambios de energía) y relaciones constitutivas (que dependen de las características y comportamiento de los materiales) (Aguilera y Stanley, 1999).

Históricamente, los métodos utilizados para evaluar y predecir las propiedades reológicas han sido un tanto arbitrarios y no cuantitativos (Giesekus *et al.*, 1988).

Los principios fundamentales de las evaluaciones reológicas de los alimentos son básicamente los mismos que se aplican a la ingeniería de los materiales, lo cual es estudiado a través de la mecánica, en donde no es de interés especificar el material al detalle, el verdadero interés es el comportamiento de éste. Los principios en los que se basan las determinaciones reológicas son: 1) El concepto de esfuerzo, que se define como la cantidad matemática que representa las fuerzas externas que producen diferentes tipos de deformación (Philips *et al.*, 1985). Se expresa como unidad de fuerza por unidad de área (Darby, 1996).

$$\sigma_T = \frac{F(t)}{A(t)}$$

Los tipos de esfuerzo pueden ser: a) Esfuerzos normales, son los componentes de esfuerzo perpendiculares a la superficie en donde actúan (Steffe, 1992), éstos pueden ser compresores o extensores, b) Esfuerzos de cizalla, son los componentes del esfuerzo aplicado de forma tangencial al plano en donde actúa la fuerza, c) Esfuerzo de fluencia, es el mínimo esfuerzo de cizalla para iniciar el flujo, que es una realidad en ingeniería (Hartnett, 1989) y d) Volumétricos, cuando un material se somete a esfuerzos compresivos de la misma magnitud en todas sus superficies y producen un cambio de volumen, sin alterar su forma (Mohsenin, 1996). El esfuerzo tiene nueve componentes que describen completamente el estado del esfuerzo aplicado a un material, son conocidos como tensores de esfuerzo y corresponden al conjunto de productos que se obtienen de multiplicar cada una de las coordenadas cartesianas de cada uno de los puntos, superficie del material sobre el que se aplica el esfuerzo y dirección del esfuerzo (Steffe, 1992). El tensor de esfuerzos refleja dos tipos de interacción entre las partículas, una entre las partículas que se tocan y la segunda por la acción y la distancia (Tanner, 2000).

2) Deformación, la cual se determina por incrementos o diferencias de desplazamiento. Los tipos de deformación son: a) Absoluta, que implica el cambio de tamaño de un material una vez que ha sido aplicada una fuerza y b) Relativa, que es la diferencia de tamaño de un material con respecto a su estado original cuando se le aplicó una fuerza (Steffe, 1992).

3) Velocidad de deformación, es un gradiente de la velocidad que se define como la velocidad del cambio de cizalla o como el cambio de la deformación de cizallamiento por unidad de tiempo. Se representa como ($\dot{\gamma}$) y se expresa en (s^{-1}).

De acuerdo a lo anterior, puede determinarse que para los materiales sólidos, el esfuerzo es función de la deformación, mientras que para los fluidos es función de la velocidad de deformación y no de la magnitud de la deformación (Steffe, 1992).

La clasificación primaria de las sustancias sólidas o líquidas, se sustenta según se deformen o fluyan bajo la acción de una fuerza. La mayoría de los alimentos son heterogéneos, tienen una estructura interna, composición microscópica que implica diversas propiedades complejas (emulsiones, suspensiones, biopolímeros como carbohidratos, proteínas, gomas alimenticias, etc.) y son al mismo tiempo altamente anisotrópicos (materiales que resultan con diferentes características mecánicas en diferentes direcciones y fisicoquímicamente producen una fuerte inestabilidad y propiedades dependientes del tiempo), no uniformes, químicamente activos y físicamente inestables; por lo que en muchos alimentos el comportamiento depende de su estructura, composición, magnitud de la fuerza aplicada y de las condiciones experimentales.

Las pruebas reológicas cubren pequeñas y grandes deformaciones, así como bajas y altas velocidades de cizallamiento. Los tipos de pruebas pueden ser de flujo estacionario, oscilatorias y medidas de flujo transitorio (Philips *et al.*, 1985). Los procedimientos reológicos para probar los materiales consisten en pruebas no destructivas que producen poca deformación (para caracterizar la estructura reticular) (Sharma *et al.*, 2003). Para determinar las propiedades reológicas de los alimentos (viscosas y elásticas), se utilizan reómetros y viscosímetros, que son indispensables en el control de calidad, investigación, desarrollo y procesamiento (pueden utilizarse en o fuera de línea) de los productos alimenticios. Los viscosímetros son sistemas utilizados para realizar pruebas en cizalla rotacional, en los cuales se somete al material gradualmente, ya sea a velocidad o a un

esfuerzo de cizalla y se evalúa la respuesta en relación al tiempo. Por otro lado, los reómetros son instrumentos utilizados para realizar tanto pruebas rotacionales como oscilatorias, en estas últimas los materiales se someten a una onda armónica de esfuerzo o velocidad de cizalla y se evalúa la onda resultante de esfuerzo o velocidad (Bourne, 1982; Steffe, 1992). En este tipo de pruebas, el material queda intacto cuando es sometido a una baja deformación sinusoidal (generalmente son muy pequeñas y no destructivas) (Moskowitz, 1987). La amplitud de la deformación y la frecuencia (ω), son variables controlables en la mayoría de los reómetros, pero también es posible controlar la amplitud del esfuerzo de cizalla, determinando la deformación respectiva a esa amplitud (Tanner, 2000).

La viscosidad es una de las propiedades más importantes utilizadas para cálculos en la rama de la ingeniería, ya que determina el tipo de fluido, es una de las más sobresalientes características físicas y sensoriales de alimentos líquidos y semilíquidos. La viscosidad significa la resistencia al flujo de un material, se define como el cociente o relación entre el esfuerzo de cizallamiento y la velocidad de cizallamiento en flujo estacionario; existen distintos términos relacionados con aspectos de viscosidad, tales como: viscosidad dinámica que es también definida como viscosidad o viscosidad absoluta (fricción interna de un líquido o su tendencia a resistir el flujo) (Bourne, 1982). La viscosidad de los materiales puede ser afectada significativamente por diversas variables como la velocidad de cizallamiento, temperatura, presión y tiempo de cizallamiento.

Variación de acuerdo a la temperatura: En la mayoría de las operaciones industriales que envuelven sistemas acuosos, los intervalos de temperatura, fluctúan de los 0 a los 100°C. La viscosidad de líquidos newtonianos, disminuye al incrementar la temperatura, siguiendo la relación de Arrhenius ($\eta = Ae^{-B/T}$). Aquellos líquidos que presentan mayores viscosidades, tienen una dependencia más estrecha con la temperatura.

La variación con la velocidad de cizalla: La velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$), se encuentra implicada en gran número de situaciones industriales cotidianas, en donde es importante determinar la viscosidad. La velocidad de cizalla involucrada en cualquier operación puede ser estimada por la división del promedio de velocidad del flujo del líquido y por la geometría específica en la que está fluyendo. Para fluidos newtonianos, la velocidad de

cizalla $\dot{\gamma}$ (expresada como s^{-1}), es directamente proporcional al esfuerzo de cizalla σ (expresado en Pa) (Aguilera y Stanley, 1999; Tanner, 2000).

El comportamiento que describe a un fluido newtoniano se define de acuerdo a los siguientes conceptos:

1. -El único esfuerzo involucrado es el esfuerzo de flujo simple, denominado esfuerzo de cizalla (σ). Para este fluido las dos diferencias de esfuerzos normales son iguales a cero.
2. -La viscosidad de cizalla no varía con la velocidad de cizalla.
3. -La viscosidad es constante con respecto al tiempo de cizallamiento y el esfuerzo en el líquido llega a cero de manera inmediata al terminar la deformación. En cualquier deformación subsecuente, la viscosidad se mantiene constante de acuerdo a las mediciones previas.
4. -Las viscosidades determinadas en diferentes tipos de geometría son siempre las mismas (Barnes *et al.*, 1989).

La determinación de la viscoelasticidad de los alimentos, es muy importante, ya que permite entender la naturaleza del comportamiento de los mismos durante y después de su procesamiento (Steffe, 1992). Muchos de los alimentos al ser sometidos a un esfuerzo de cizalla constante (o una deformación constante), presentan un comportamiento dependiente tanto del esfuerzo (o la deformación) como del tiempo. Cuando estos materiales son sometidos a una deformación de cizalla constante, por ejemplo, los esfuerzos resultantes, al inicio aumentan y después decaen lentamente en su valor hasta alcanzar estado estable. La duración y la velocidad a la cual el estado estable es alcanzado son una función de la composición del alimento y de la deformación de cizalla impuesta.

Estas pruebas utilizadas para determinar las propiedades viscoelásticas se denominan: Medidas de fluencia a esfuerzos de cizalla constante, esfuerzos de relajación a deformaciones constantes y pruebas de cizalla oscilatoria, estas últimas se muestran en la Figura 1.4 y se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$\gamma = \gamma' \text{sen}(\omega t)$$

De donde:

γ' = Amplitud de la cizalla, representa la deformación máxima de una deformación sinusoidal

ω = Frecuencia de oscilación o velocidad angular

t = tiempo (s)

El esfuerzo correspondiente para el material viscoelástico es: $\sigma = \sigma' \sin(\omega t + \delta)$

σ' = Amplitud de esfuerzo

δ = Ángulo de fase, que para materiales viscoelásticos varía de 0° a 90°

De acuerdo con lo anterior, el material puede exhibir los siguientes tipos de respuesta:

1) Esfuerzo en fase (σ'). Este componente de esfuerzo total (σ^*) se halla en fase con la deformación y define el módulo de almacenamiento (G') de la siguiente manera:

$$\sigma' = G' \gamma'$$

por lo tanto;

$$\sigma = \gamma' [G' \sin(\omega t) + G'' \cos(\omega t)]$$

Entonces:

$$G' = \frac{\sigma'}{\gamma' \cos(\delta)}$$

2) Esfuerzo fuera de fase (σ''). Este componente del esfuerzo total (σ^*), se encuentra fuera de fase con la deformación y define el módulo de pérdida (G'') como se exhibe a continuación:

$$\sigma'' = G'' \gamma''$$

$$G'' = \frac{\sigma''}{\gamma'' \sin(\delta)}$$

Por lo tanto el módulo complejo (G^*), se define como la suma vectorial de los módulos elástico y viscoso, por medio de la siguiente expresión:

$$G^* = \sigma^* / \gamma^* = (G' + iG'')$$

y la magnitud de:

$$G^* = (|G^*|) = (G'^2 + G''^2)^{1/2}$$

Simplificando

$$G^* = G' + G''$$

La tangente de pérdida ($\text{Tan}(\delta)$) se define como el cociente entre el módulo de pérdida y el módulo de almacenamiento; representa el cociente entre el esfuerzo que se disipa en forma de calor y el esfuerzo que se almacena por elasticidad y queda dado por (Sharma *et al.* 2003);

$$\text{Tan}(\delta) = \frac{G''}{G'}$$

De acuerdo a lo anterior, la viscosidad puede expresarse de la siguiente manera:

$$\eta^* = \frac{G''}{\omega} - \frac{iG''}{\omega} = \eta' - i\eta''$$

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} = \sqrt{(\eta')^2 + (\eta'')^2}$$

$$\eta' = \frac{G'}{\omega}$$

$$\eta'' = \frac{G''}{\omega}$$

Donde;

η' = Viscosidad dinámica

η'' = Componente de la viscosidad compleja fuera de fase (Steffe, 1992).

De acuerdo a la Figura 1.4, un material sólido elástico no tiene un retraso entre esfuerzo y deformación, en tanto que el ángulo de fase para fluidos newtonianos es de 90° , mientras que cuando el esfuerzo y la deformación no se encuentran en la misma fase, se trata de materiales viscoelásticos, los cuales presentan propiedades simultáneamente de sólidos (elasticidad) y de fluidos (viscosidad) (Aguilera y Stanley, 1999; Tanner, 2000), en donde el retraso de la fase puede proveer una indicación de las características reológicas, la dependencia de la frecuencia de estos módulos "elástico" y "viscoso" puede ser tratada como la huella del material de estudio, determinando la información reológica debida a la rigidez de los materiales, lo cual también puede ser utilizado como monitor de las propiedades texturales.

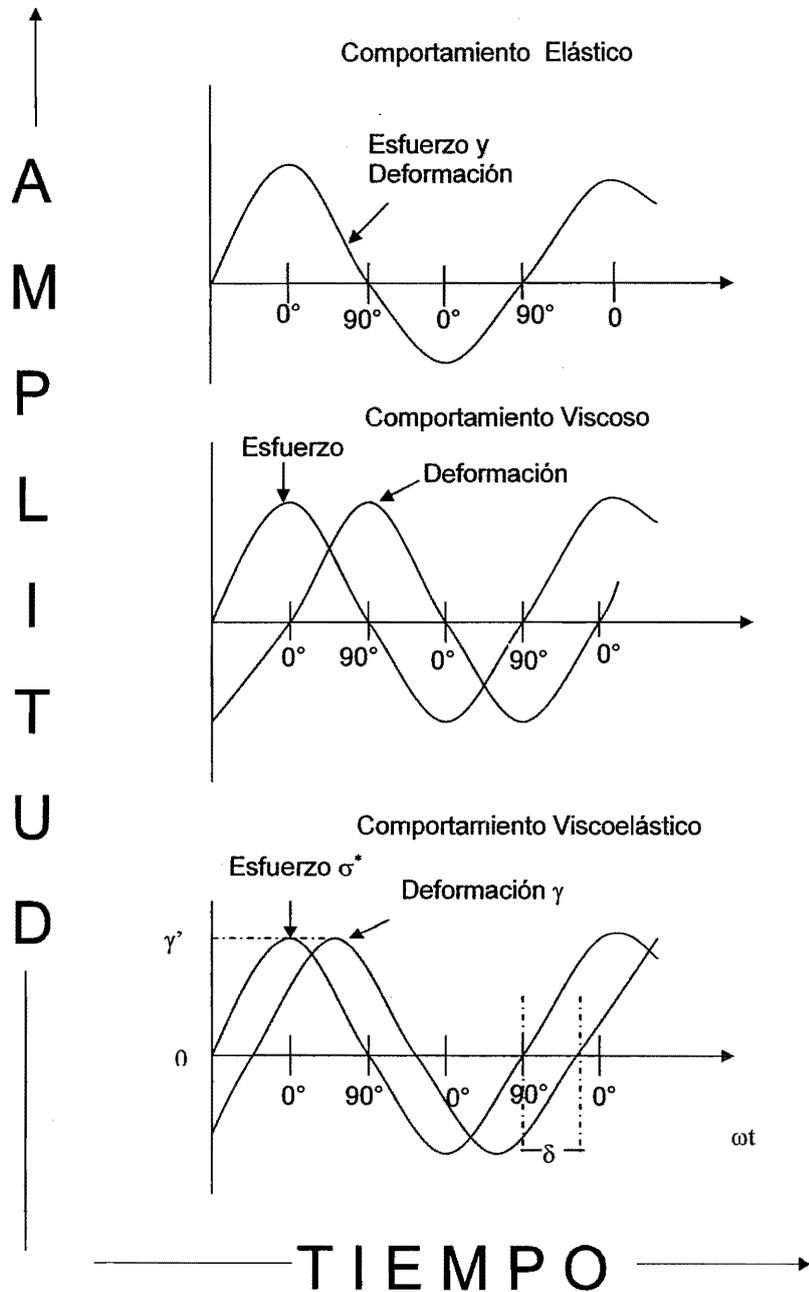


Figura 1.4 Curvas sinusoidales de los sistemas elástico, viscoso y viscoelástico (Bourne, 1982; Sharma *et al.*, 2003)

1.7.1 REOLOGÍA DE ALIMENTOS SEMILÍQUIDOS

Los alimentos semilíquidos incluyen una amplia variación de materiales con diferentes tipos de estructura y composición, por lo que muestran un comportamiento de flujo que va desde los newtonianos hasta los no newtonianos dependientes del tiempo y viscoelásticos, lo cual depende de su origen, concentración de los ingredientes que los componen e historia previa. La complejidad de la naturaleza de los alimentos semilíquidos, su amplia gama y diversidad de comportamientos han sido estudiados con diferentes propósitos: a) Control de calidad, b) Estructura, c) Aplicaciones en procesos de ingeniería y d) Correlación con las evaluaciones sensoriales. Las propiedades reológicas de alimentos líquidos y semilíquidos (viscosidad absoluta, viscosidad aparente, esfuerzo de fluencia, modelos reológicos que describen la relación entre el esfuerzo y la velocidad de cizalla y el efecto de la temperatura sobre la viscosidad), juegan un papel importante en las operaciones de transferencia de cantidad de movimiento y en otras operaciones unitarias que se ven implicadas durante el procesamiento de este tipo de alimentos. Las técnicas para determinar los diferentes tipos de comportamiento reológico que presentan los alimentos líquidos y semilíquidos, pueden ser explicadas al considerar el flujo en cizalla simple, mediciones (reogramas) y ecuaciones (Rao y Rizvi, 1995; Rao, 1999) y se obtiene como parámetro fundamental la viscosidad (absoluta o aparente) (Alonso *et al.*, 1990).

Los alimentos líquidos y semilíquidos son aquellos que no retienen su forma, pero adquieren la forma del recipiente que los contiene. Los alimentos semilíquidos que contienen relativamente grandes cantidades disueltas de compuestos de bajo peso molecular (azúcar) y pequeñas cantidades de hidrocoloides en disolución (~ 1%), presentan un comportamiento newtoniano, pero por efecto del hidrocoloide disuelto exhiben un incremento substancial de la viscosidad; también podemos citar en esta clasificación de semilíquidos a aquellos alimentos que tienen disueltas cantidades significativas de compuestos de alto peso molecular o sólidos en suspensión (Rao y Rizvi, 1995; Rao, 1999).

Como parámetro principal, la viscosidad de las soluciones de sacarosa ha sido estudiada por diversos autores, porque son frecuentemente utilizadas para la calibración de los viscosímetros, dando valores de viscosidad por encima de la del agua. A igual contenido

de extracto seco, las soluciones de azúcar invertido ofrecen valores de viscosidad inferiores que las de glucosa, que exhiben a su vez una viscosidad superior a las soluciones de sacarosa. Para el proceso de fabricación de productos de confitería, es de práctica común someter a ebullición una solución saturada de sacarosa, la cual presenta propiedades reológicas muy típicas, ya que mantiene el comportamiento newtoniano a elevadas concentraciones de azúcar, la viscosidad de estas soluciones de azúcar una vez que se han enfriado a la temperatura ambiente, puede variar entre valores de menos de 0.2 Pa s a más de 1000 Pa s, pero manteniendo el mismo comportamiento reológico (Rao, 1999).

1.8 TEXTURA

Lipowitz en 1861, fue la primera persona que desarrolló un instrumento expresamente para evaluar la textura de los alimentos (firmeza de jaleas) (Bourne, 1982).

Antes de 1940, las mediciones sensoriales de la textura de los alimentos eran subjetivas y poco confiables. A partir de la Segunda Guerra Mundial, la Armada norteamericana desarrolló el estudio de la textura, a través del Centro de Investigación de Ingeniería y Desarrollo de la Armada del Departamento de la Defensa de Estados Unidos de América (NRDEC) (Rosenthal, 1999). Éste tuvo a su cargo la responsabilidad del desarrollo e investigación de los requerimientos militares, logísticos y comerciales de los alimentos en general, por lo que crearon un programa para la comprensión de los análisis sensoriales, programa en que fueron pioneros los trabajos del laboratorio de David Peryam y colaboradores en el Instituto Oficial de Alimentos y Envases de Chicago, en donde incluyeron las investigaciones básicas de los mecanismos envueltos en la percepción de la textura, sabor y olor por parte de panelistas (Bourne, 1982; Rosenthal, 1999).

El término de *textura* proviene del latín "textura" que significa tejido, el término fue tomado para referirse a la estructura, sensación y apariencia; pero no fue sino hasta 1660 que se utilizó para describir la constitución, estructura o esencia de cualquier cosa con respecto a sus componentes (Dahlquist y Satas, 1989).

La Organización Internacional de Estandarización en 1992, definió a la *textura* como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medios mecánicos, táctiles, visuales y audibles a través de los sentidos (Rosenthal,

1999). Sin embargo, Kramer fue quien definió a las propiedades texturales (viscosidad y consistencia), como sensaciones percibidas por los nervios terminales del músculo (Saunders, 1992; Rosenthal, 1999).

La textura es una propiedad sensorial vinculada e íntimamente relacionada con respuestas humanas que sirve para determinar la calidad, comúnmente es medida por medios mecánicos que implican la aplicación de principios reológicos (Moldenaers, 1992). Las propiedades texturales son requeridas por los ingenieros, como características deseadas en productos terminados. Para lo cual son indispensables la identificación de pruebas y determinaciones instrumentales, que correlacionen los atributos texturales de los productos con el comportamiento reológico que presentan (Bourne, 1982; Rosenthal, 1999).

El estudio y aplicación de la textura de alimentos requiere de diversas disciplinas: física, ciencia de los alimentos, psicofísica, análisis sensorial, economía, desarrollo de productos, investigación, mercadotecnia y control de calidad (Dahlquist y Satas, 1989).

Para determinar las características texturales específicamente en alimentos, se utilizan comúnmente los texturómetros, ya que pueden deformar a los materiales de varias maneras y miden la fuerza que se requiere para producir esa deformación. Caracterizan al material con base en una curva de fuerza-tiempo, que debe convertirse en datos de esfuerzo-deformación, con lo cual se pueden correlacionar las propiedades reológicas y texturales de los alimentos (Sherman, 1988). Los instrumentos utilizados para evaluar la textura, simulan las propiedades mecánicas de los alimentos en la boca, realizando mediciones reológicas que sirven para considerar los datos obtenidos en la caracterización mecánica (no sensorial) de la textura (Philips *et al.*, 1985; Moldenaers y Keunings, 1992; Sherman, 1988). Las pruebas que se correlacionan con la evaluación textural y que son aplicadas a los alimentos pueden ser subdivididas dentro de tres grandes categorías (Sherman, 1988):

a) Empíricas: Condiciones de pruebas que son poco definidas y su función es la de ayudar a obtener una aproximación del significado de las propiedades texturales, se realizan de manera muy rápida y pueden utilizarse como indicadores de control de calidad durante las operaciones de proceso.

b) Cuantitativas. Pruebas en donde las condiciones se definen de forma precisa, producen un daño estructural mínimo, toman mayor tiempo, arrojan análisis detallados de los datos experimentales y la información obtenida, se deriva tanto de la estructura como de la textura en términos bien conocidos en parámetros físicos, equivalentes a pruebas reológicas.

c) Imitativas: Simulan las condiciones en que los alimentos son masticados o estrujados. Representan y predicen con cierta proximidad las evaluaciones realizadas por los consumidores sobre la misma propiedad textural. Los datos obtenidos, pueden ser reemplazados por pruebas reológicas específicas que toman menor tiempo (Sherman, 1988).

1.8.1 ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA (TPA)

La Corporación Técnica del Centro General de Alimentos fueron los pioneros en el desarrollo del Análisis del Perfil de Textura, por sus siglas en inglés (TPA) en 1960. La aplicación de la técnica del perfil de textura para alimentos, fue desarrollada por Bourne y colaboradores en 1966, prediciendo valores separados para cada atributo textural: adhesividad, cohesividad, dureza, firmeza, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Posteriormente el TPA fue modificado por Bourne entre 1968 y 1974, hasta que finalmente el Método General del Perfil de Textura, fue conformado en junio de 1977 (Saunders, 1992). La terminología utilizada para evaluar y describir la textura de los alimentos, fue estipulada después de que se estableció el Método General del Perfil de Textura, mediante la clasificación de las cualidades texturales:

a) Mecánicas: aquellas características que son referidas a la respuesta de materiales alimenticios y a las fuerzas aplicadas.

b) Geométricas: características que se refieren a las propiedades de los componentes de los alimentos (tamaño, forma y orientación de las partículas).

c) Humedad-contenido de grasa: asociadas con los contenidos de agua y aceite (Rosenthal, 1999).

El perfil de los atributos texturales, representa las pruebas de compresiones para los alimentos, es evaluado a tiempos específicos durante el ciclo de masticación (fases), imitando la mordida y la acción de la mandíbula, tal como se describe a continuación:

1.-Primera mordida: En esta fase, se determinan los atributos mecánicos: firmeza, fracturabilidad, viscosidad, dureza y atributos geométricos (Sherman, 1988). Ésta consiste en remover la carga de la muestra y permitir su relajación, sin embargo la estructura interna del alimento, minimiza el grado de daño estructural y no reproduce las condiciones prevalecientes durante la evaluación de la dureza por parte del consumidor, el cual impone bajas compresiones, mediante la extrusión del material en la boca y entre los dedos (Sherman, 1988). Esta evaluación, puede ser simulada reológicamente por una prueba de compresión, en donde la fuerza de compresión aumenta de forma directamente proporcional.

2.-Masticatoria: comprime la muestra nuevamente antes de permitir que se relaje por una segunda ocasión, en esta fase es en donde se evalúan otros atributos mecánicos: gomosidad, masticabilidad, adhesividad y geométricos. La resistencia durante la deformación del alimento es monitoreada durante este segundo ciclo, del cual se extrae una curva de fuerza contra tiempo, que implica determinados parámetros texturales que se correlacionan con los parámetros de evaluación sensorial (Rosenthal, 1999).

3.- Residual: cambios que ocurren en las características que preceden después de la masticación (componentes residuales de productos percibidos en la boca después de ser tragados) (Saunders, 1992).

En la Figuras 1.5 y 1.6, se exhiben la curva típica de TPA y los parámetros que se obtienen a partir de las determinaciones de la misma.

De acuerdo a la Figura 1.5, (A) es el comienzo de la primera compresión y el punto más alto de (A) se determina como firmeza o dureza, (B) es el principio de la segunda compresión; la fracturabilidad es la fuerza del rompimiento significativo en la curva de la primera mordida. La relación de las áreas positivas, bajo la primera y segunda mordida (A_2/A_1) se define como cohesividad, la fuerza negativa de la primera mordida (A_3) es la fuerza adhesiva, la distancia entre BC representa la elasticidad. Los otros parámetros como gomosidad, resultan del producto de firmeza por cohesividad y la masticabilidad es el producto de la gomosidad por la elasticidad.

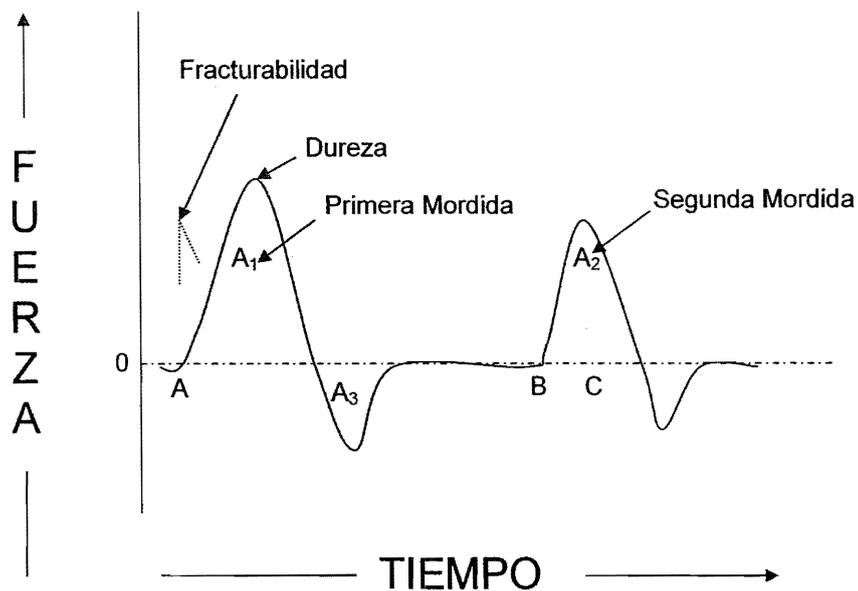


Figura 1.5 Curva típica del Análisis del Perfil de Textura (Bourne, 1982; Rosenthal., 1999)

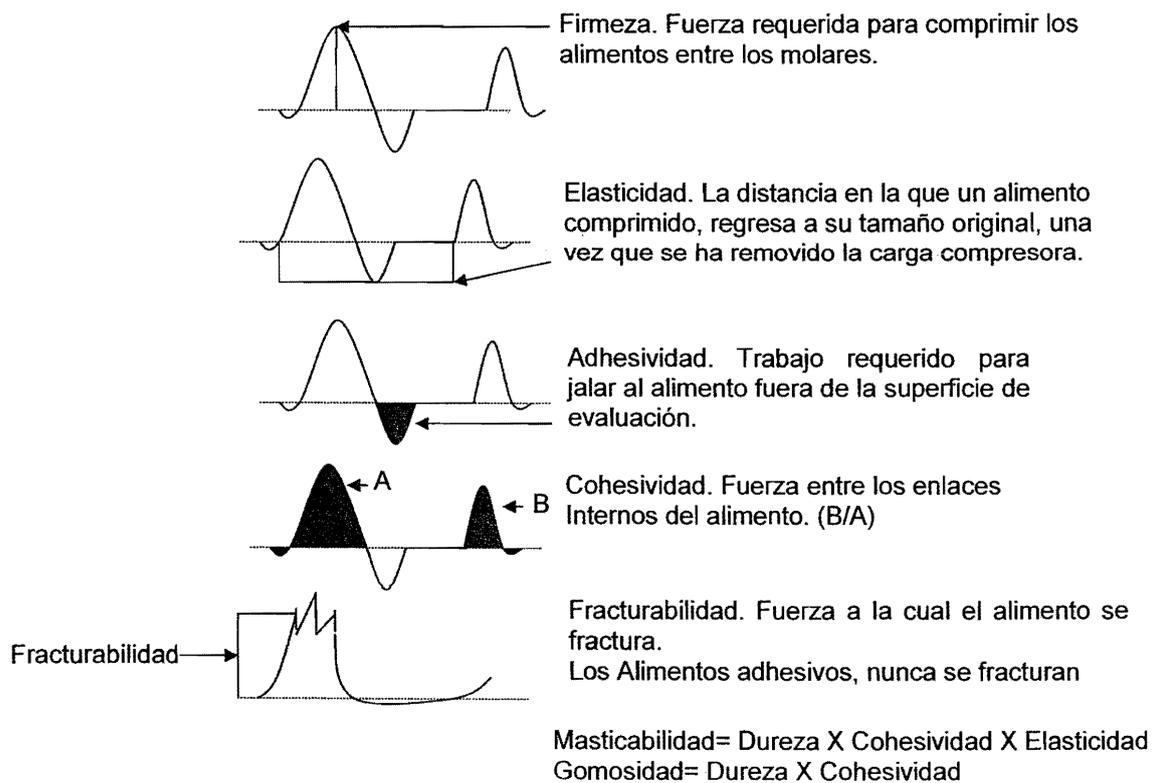


Figura 1.6 Parámetros determinados a través del TPA (Rosenthal, 1999)

La adhesividad ha sido definida por Jowitt en 1974, como la característica de la propiedad textural manifestada por la tendencia a adherirse al contactarse a las superficies (paladar, dientes y lengua). También se ha definido como la propiedad que permite unirse con la superficie de otro material y tener contacto bajo suaves presiones (pegarse rápidamente, adhesión inicial, adhesividad y unión rápida) (ATSM, 1982 en Kilcast y Roberts, 1998).

La adhesividad de alimentos es un término complejo, puede ser potencialmente una característica positiva o negativa. Es una propiedad de muchos alimentos (galletas suaves, toffes, frutas deshidratadas, productos de confitería y de algunos platillos como purés) que requiere ser investigada. Se manifiesta de forma distinta en diversos aspectos o formas (adherencia al equipo de proceso, cohesión de polvos, adhesividad al empaque, a los dedos y otras partes de la boca), todo lo anterior puede generar daño al material de empaque, pérdida de producto, cambios en la forma y superficie del producto. Esto puede producir una reacción adversa al ser percibido por el consumidor cuando tiene contacto tanto con el alimento como con el material de empaque, lo cual dependerá de la extensión de la adhesividad, tipo, costo del producto y en la habilidad de alternar la combinación producto / empaque.

La adhesividad es característica de productos de confitería con altos contenidos de azúcar, los cuales pueden ser considerados como adhesivos, de acuerdo a las siguientes características o combinación de éstas: 1) Bajos contenidos de humedad, 2) Alto contenido de sólidos solubles, 3) Fusión por la temperatura y 4) Alta adhesividad a superficies. La adhesividad se evalúa durante el primer ciclo de compresión, en donde la fuerza es removida de la muestra, cuando el dispositivo de la prueba regresa a la posición original, si el material es del todo pegajoso o adhesivo, la fuerza se torna negativa. El área de este pico negativo, determina la adhesividad de la muestra, expresada en unidades de integradores internos, basados en la gráfica de fuerza contra tiempo (Rosenthal, 1999). Las evaluaciones en términos de energía y de curvas fuerza-tiempo, pueden transformarse en curvas de esfuerzo-velocidad, en donde el área debajo de la porción de desadherencia, determina las mediciones de la energía (Saunders, 1992).

Las fuerzas tensoras, normalmente presentan un valor máximo y comienzan a disminuir antes de que la hebra de la muestra se extienda hasta romperse. Durante la prueba, el área seccional de la hebra se estrecha, conforme la fuerza tensora disminuye. La fuerza

adhesiva aumenta en tanto las fuerzas cohesivas se mantienen sujetas en contra de la tensión (Henry y Katz, 1969). En las curvas típicas de TPA, el área bajo la curva de fuerza-distancia es proporcional al trabajo realizado en la extensión de la muestra.

Las propiedades adhesivas son consideradas, cuando existe remanente del material adhesivo en el dispositivo de evaluación y las propiedades cohesivas, se consideran cuando no quedan residuos del material adhesivo. La transición de propiedades adhesivas a cohesivas, se asocian al cambio de propiedades elásticas a comportamientos viscosos (Dahlquist y Satas, 1989).

1.8.2 TEXTURA DE ALIMENTOS SEMILÍQUIDOS

En 1971, Henry y colaboradores utilizaron el TPA para evaluar la textura de alimentos líquidos y semilíquidos, detallaron con mayor precisión el análisis de la adhesividad de la curva del perfil de textura de alimentos semilíquidos, determinando el área de la curva de adhesividad y midiendo la fuerza máxima (Bourne, 1982). Las propiedades físicas de jarabes a base de azúcar, se han evaluado texturalmente, por medio de la percepción sensorial en paladar, dientes, lengua y dedos (Mohensenin, 1996). Para correlacionar los datos obtenidos con la evaluación sensorial y las propiedades físicas, se estudió la interrelación entre untabilidad, viscosidad y adhesividad. Encontrándose que los alimentos entre más pegajosos (adhesivos) sean, presentan un comportamiento cercano al newtoniano. Las propiedades reológicas y la adhesividad pueden influirse mutuamente. En tanto que las superficies energéticas, dependen de las características de la superficie de adhesión (cuanto más material quede pegado, la energía de adherencia de la superficie del dispositivo, es mayor que la propia fuerza adhesiva del material). Lo cual se explica por que la baja energía de los materiales es absorbida por un gradiente de mayor nivel energético.

1.9 RELACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y TEXTURALES

Los perfiles de textura, han servido como un puente entre los principios reológicos fundamentales y la nomenclatura popular. La textura es una clave en los factores de calidad de los alimentos, los atributos (características texturales) son extremadamente importantes en la aceptación de alimentos semifluidos (Bourne, 1982). Se ha encontrado

que existe una relación entre el dulzor de soluciones de sacarosa y la viscosidad, sensación al paladar y propiedades físicas: densidad, tensión superficial, etc. (Stone, 1996). La fuerza requerida para originar una deformación en los alimentos, es la respuesta de los mismos a la aplicación de esta fuerza, que es medida organolépticamente por la presión ejercida en los dientes molares, lengua y paladar (Sherman, 1988).

Las evaluaciones dinámicas aproximan el efecto físico de la saliva, curvatura y movimientos oscilatorios de la lengua, actuando como dos placas paralelas (lengua y paladar) que se mueven con cierta velocidad, el fluido que se mantiene entre ambas placas es comprimido lentamente por una fuerza normal constante aplicada en la placa inferior (Bourne, 1982).

Las propiedades viscoelásticas de los alimentos y su relación con las propiedades adhesivas y cohesivas han sido reconocidas por Saunders en 1992, ya que se ha encontrado que los máximos valores adhesivos, tienen un módulo de almacenamiento bajo (Dahlquist y Satas, 1989).

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 2.1, se presenta el cuadro metodológico utilizado para la realización de esta investigación.

2.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES

Las actividades preliminares se propusieron con el objetivo de establecer las condiciones específicas para la obtención del producto en estudio. A continuación se explica la metodología que se siguió para determinar tanto el orden adecuado de incorporación de los ingredientes como el tipo de hidrocoloide seleccionado, en base a las características físicas finales (claridad y consistencia), deseadas en el producto final.

ACTIVIDAD PRELIMINAR 1. El orden de adición experimentado, se resume en los siguientes cuadros. La primera columna de los cuadros, incluye los ingredientes utilizados para elaborar la base de la golosina semifluida, la columna denominada "Condición", muestra la temperatura a la cual se realizaron las mezclas y/o se agregaron los ingredientes, según sea el caso; en la columna de "Orden de preparación", se indica numéricamente el orden en el que se llevó a cabo la preparación de las mezclas de los ingredientes y finalmente, la columna de "Orden de adición", representa el orden de incorporación de las mezclas, hasta obtener el producto final.

Cuadro 2.1 Proceso preliminar 1 para la preparación de la golosina semilíquida.

INGREDIENTES	CONDICIÓN	ORDEN DE PREPARACIÓN	ORDEN DE ADICIÓN
Jarabe alta fructuosa + azúcar	T= 25°C	1	1º
Agua (100%) + hidrocoloide	T= 25°C	2	2º
	Concentración T= 121°C	3	
Ácido cítrico	T= 54°C		3º

PROBLEMA. Caracterización reológica y textural de una base de golosina semillíquida. Influencia de la formulación y proceso de elaboración

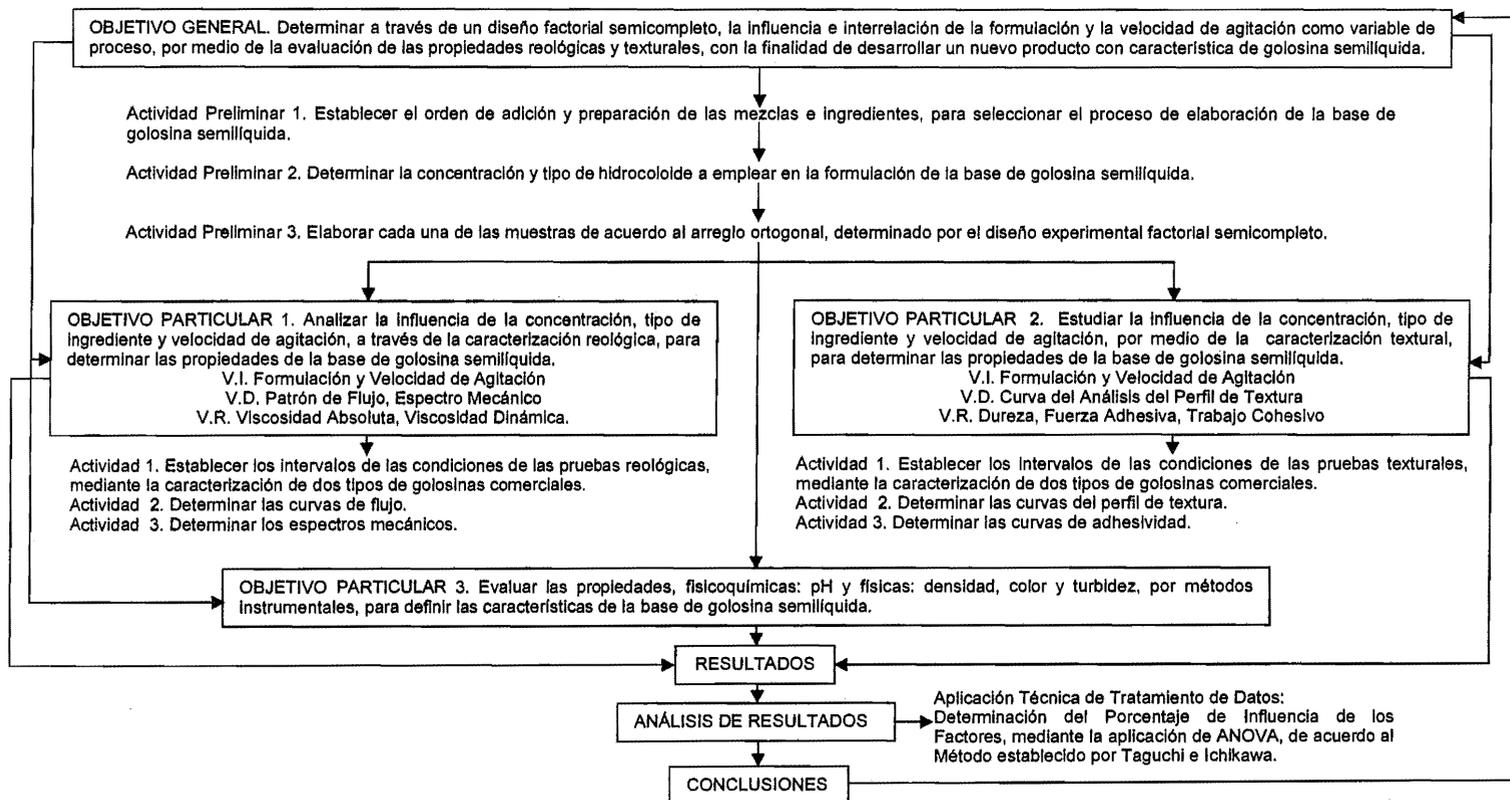


Figura 2.1 Cuadro Metodológico

Cuadro 2.2 Proceso preliminar 2 para la obtención de la golosina semilíquida.

INGREDIENTES	CONDICIÓN	ORDEN DE PREPARACIÓN	ORDEN DE ADICIÓN
Jarabe alta fructuosa + azúcar + agua (50%)	T= 50°C	1	1º
Agua (50%) + hidrocoloide	T= 25°C	2	2º
	Concentración T=121°C	3	
Ácido cítrico	T= 54°C		3º

Cuadro 2.3 Proceso final para la elaboración de la golosina semilíquida.

INGREDIENTES	CONDICIÓN	ORDEN DE PREPARACIÓN	ORDEN DE ADICIÓN
Agua (30 %) + azúcar = Az	T= 88.5-96°C	2	1º
Az + jarabe alta fructuosa	T= 117°C	3	2º
Agua (70%) + hidrocoloide	T=25°C	1	3º
	Concentración T= 121°C	4	
Ácido cítrico	T= 54°C		4º

En el Cuadro 2.3, se representa el orden de adición de los ingredientes seleccionado, debido a que se obtuvieron las mejores características físicas en el producto, tales como: claridad y consistencia (criterio para la selección del método).

2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA BASE DE GOLOSINA SEMILÍQUIDA

En la Figura 2.2, se muestra el proceso general de elaboración de la base de golosina semilíquida que se siguió para la preparación de las 32 muestras. Se incluyen las principales corrientes de los ingredientes, la temperatura alcanzada, así como los tiempos de mezclado que corresponden a la velocidad de agitación mínima, con agitador de propela y máxima con homogenizador.

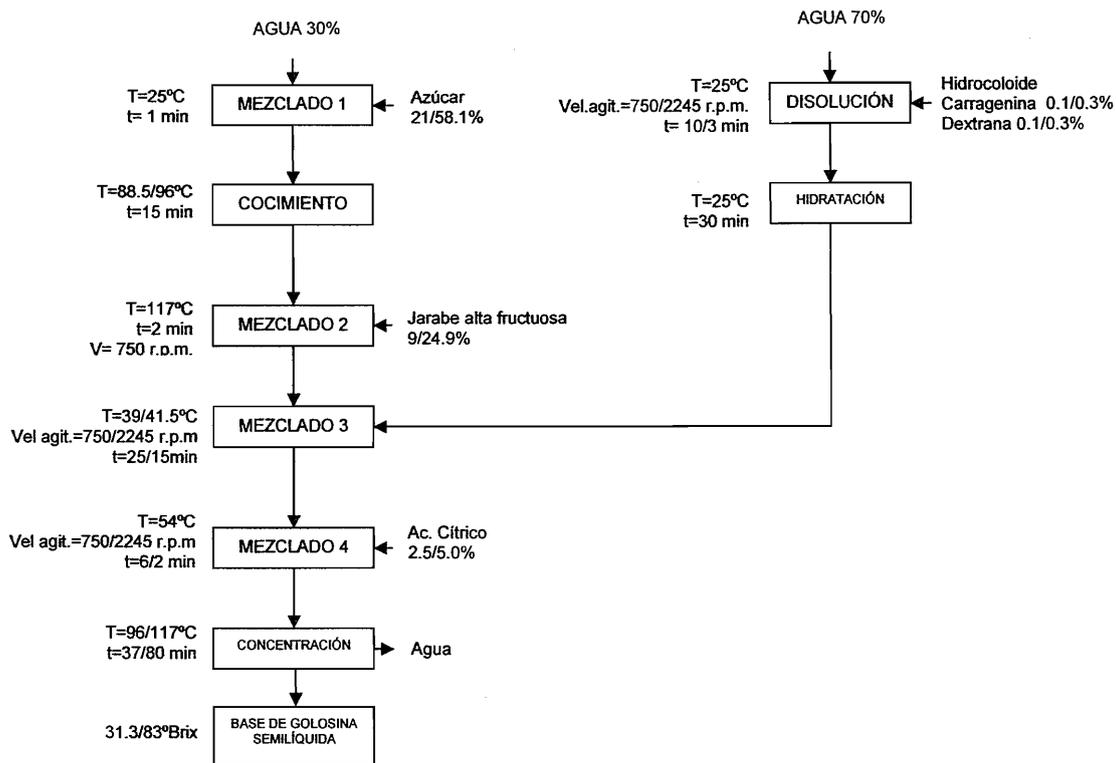


Figura 2.2 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la base de golosina semilíquida.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación se describen cada una de las operaciones efectuadas:

- **DISOLUCIÓN.** Primera etapa del proceso, que consiste en hidratar el hidrocoloide a estudiar, por medio de la incorporación de agua, mediante la continua agitación.
- **HIDRATACIÓN.** Procedimiento que se basa en dejar reposar durante 30 minutos al hidrocoloide previamente disuelto, para permitir su completa hidratación.
- **MEZCLADO 1.** Operación cuya finalidad es la de producir mediante agitación manual, un primer jarabe compuesto por agua y azúcar.
- **COCIMIENTO.** Parte del procedimiento, que consiste en calentar a fuego directo la solución del azúcar obtenida en el mezclado 1, hasta formar una melaza de aproximadamente 35°Brix.

- **MEZCLADO 2.** Etapa cuya finalidad es añadir a la melaza obtenida en el cocimiento, el jarabe de alta fructuosa, por medio de un mezclado con un agitador de propela.
- **MEZCLADO 3.** Este consiste en incorporar el hidrocoloide al producto obtenido en el mezclado 2. Todo mediante agitación, dependiendo del diseño experimental, se usa agitador de propela u homogenizador.
- **MEZCLADO 4.** Procedimiento por el cual se adiciona a la mezcla formada de agua, azúcar, jarabe de alta fructuosa e hidrocoloide (mezclado 3), el ácido cítrico; la velocidad de agitación bajo la cual se realiza esta etapa, depende del diseño experimental.
- **CONCENTRACIÓN.** En esta etapa se evapora el excedente de agua con la finalidad de ajustar los °Brix, de acuerdo al diseño experimental. La concentración consiste en eliminar vapor formado por la ebullición de una solución líquida, en este caso en particular un jarabe, obteniéndose una solución con mayor proporción de sólidos de azúcar.

En el Cuadro 2.4, se presentan los equipos utilizados para la elaboración del producto en estudio.

Cuadro 2.4 Equipos utilizados para la elaboración de la base de golosina semilíquida.

EQUIPO	MARCA	CARACTERÍSTICAS
BALANZA ANALÍTICA	OHAUS	Exactitud +/- 0.01 g
PARRILLA ELÉCTRICA	OHAUS	
HOMOGENIZADOR	SILVERSON L4R	1000 – 3000 r.p.m.
AGITADOR DE PROPELA	YAMATO LR-4ID	200 – 2400 r.p.m.

ACTIVIDAD PRELIMINAR 2. Para determinar los dos niveles de concentración del hidrocoloide (mínimo y máximo), se estudiaron siete niveles de concentración en xantana, por ser un hidrocoloide espesante y ampliamente utilizado en la industria alimentaria; esta actividad se realizó con la finalidad de hacer pruebas y fijar como nivel de concentración máximo el 1% y mínimo el 0.1% (de acuerdo a lo recomendado por la bibliografía) y se siguió el proceso previamente seleccionado para la elaboración de la base de golosina semilíquida.

Los hidrocoloides seleccionados en los dos niveles anteriormente fijados, fueron dextrana, hidrocoloide espesante y carragenina, hidrocoloide gelificante; ambos a diferencia de la xantana, proporcionaron las características deseadas (consistencia y claridad).

2.3 INGREDIENTES

En el Cuadro 2.5, se describen brevemente los ingredientes utilizados en la formulación de la base de golosina semilíquida de estudio. Se indica el proveedor y las características de cada uno.

Cuadro 2.5 Descripción de los ingredientes utilizados en la elaboración de las muestras de estudio

INGREDIENTE	PROVEEDOR	CARACTERÍSTICAS
AZÚCAR	COMERCIAL MEXICANA	REFINADA
JARABE DE ALTA FRUCTUOSA 55	ARANCIA C.P.	LÍQUIDO CLARO, LIGERAMENTE VISCOSO, SABOR DULCE
DEXTRANA LEUCONOSTOC MESENEROIDES D-5501	SIGMA	HOJUELAS COLOR BLANCO-CREMA GRADO INDUSTRIAL, PESO MOLECULAR 5000,000-40,000,000 LOT.84K1056
ÁCIDO CÍTRICO	FARMACIA SAN ISIDRO	POLVO BLANCO, INODORO
CARRAGENINA CARRALACT 99 C.M.P.	MAKYMAT	POLVO BLANCO-CREMA, INODORO, MEZCLA DE CARRAGENINA LAMBDA Y KAPPA
AGUA	COMERCIAL MEXICANA	DESTILADA Y DESMINERALIZADA

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL SEMICOMPLETO

El diseño experimental utilizado en este estudio, se define como un arreglo factorial semicompleto, el cual se basa en la teoría de Taguchi para el desarrollo de productos y procesos. El método de Taguchi ha sido aplicado desde mediados de 1960 por compañías japonesas de automóviles y productos electrónicos, debido al éxito obtenido en el aseguramiento y control de calidad, por la reducción de variaciones en un producto o proceso y la disminución en los costos para la sociedad (cuando se realizan diseños experimentales utilizando diseños factoriales completos, se requieren normalmente altos consumos de tiempo y horas hombre). Lo anterior se resume en el aumento de la calidad y disminución de los costos de producción (Ross, 1989).

2.4.1 DESCRIPCIÓN

Se establecieron los factores a estudiar: °Brix, concentración de ácido cítrico, tipo y concentración de hidrocoloide, formulación y velocidad de agitación relacionados con el proceso de elaboración, lo cual influye sobre las propiedades reológicas, texturales, características físicas y fisicoquímicas de la base de golosina semilíquida. Los valores extremos de los ingredientes del estudio se muestran en el Cuadro 2.6.

Cuadro 2.6 Niveles mínimo y máximo de los ingredientes a estudiar en la golosina semilíquida.

INGREDIENTE	Nivel 1 %	Nivel 2 %
Sacarosa	21	58.1
Jarabe de alta fructuosa	9	24.9
Agua	11	67.25
Dextrana	0.1	0.3
Carragenina	0.1	0.3
Ácido cítrico	2.5	5.0

Cabe mencionar que de acuerdo al producto deseado, se delimitó el contenido de agua y °Brix. En cuanto al proceso de elaboración, se estableció el estudio de la influencia de la velocidad de agitación para la disolución, incorporación del hidrocoloide previamente hidratado y para la adición del ácido cítrico, ésta se representa para el nivel mínimo con el agitador de propela y el nivel máximo con el homogenizador.

La Figura 2.3, se refiere al diagrama de causa y efecto en donde únicamente se establecen los factores a estudiar, sus niveles extremos (mínimo y máximo) y las propiedades a evaluar. En cuanto a las relaciones que cada factor ejerce sobre las propiedades reológicas, texturales, etc., se representan en un arreglo ortogonal, descrito en la Figura 2.4.

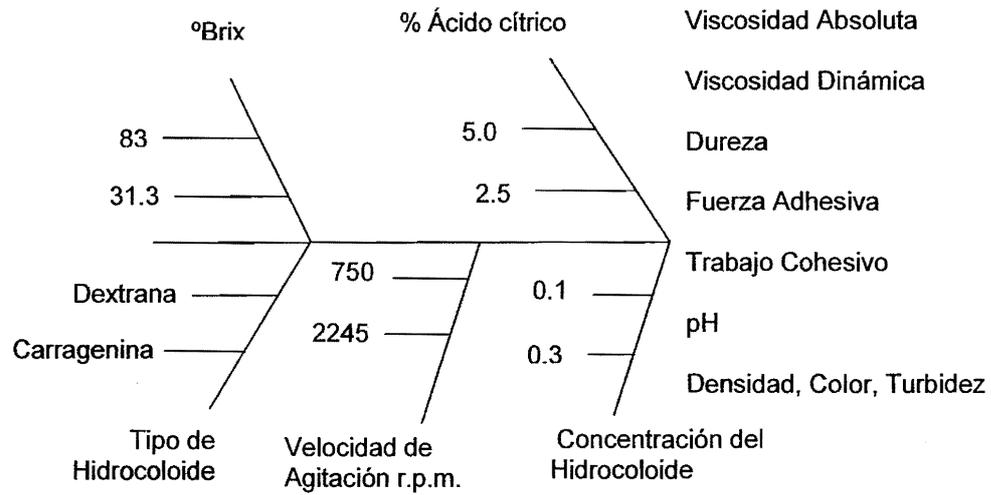


Figura 2.3 Diagrama de causa y efecto I

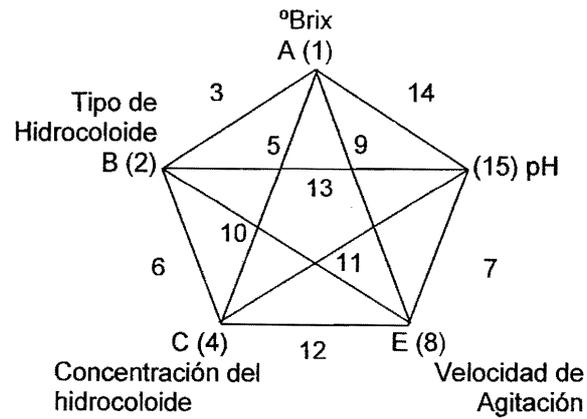


Figura 2.4 Diagrama ortogonal del arreglo lineal L₁₆-I

En el diagrama ortogonal, se representan los factores determinantes que son los vértices nombrados con las letras A, B, C y E, todos los factores de estudio están expresados por los números entre paréntesis 1, 2, 4, 8 y 15. Cada línea tiene un número y simboliza las interrelaciones entre todos los factores de estudio.

Para el objeto de este trabajo, se utilizaron dos arreglos ortogonales, en el primero y referente a la Figura 2.4 se realiza un estudio con un enfoque general, en el cual se evaluó el efecto de las variables: °Brix, concentración de ácido cítrico, velocidad de agitación, tipo y concentración de hidrocoloide, sobre las características reológicas, texturales, físicas y fisicoquímicas de la base de golosina semilíquida. En el segundo estudio, se evalúa de manera particular el efecto de los factores sobre cada uno de los hidrocoloides utilizados.

El arreglo ortogonal del primer caso de estudio, se simplifica en el Cuadro 2.7, para un mejor entendimiento. De acuerdo al método de Taguchi e Ichikawa, la primera columna representa a las muestras preparadas en base a los niveles de cada factor. A partir de la segunda columna se presentan cada uno de los factores determinantes: °Brix, tipo y concentración de hidrocoloide, velocidad de agitación y concentración de ácido cítrico; algunos de los cuales están denotados por medio de letras, los números que les corresponden, representan todos los factores de estudio y son utilizados posteriormente para realizar el análisis estadístico. Por lo tanto, para el estudio general resultaron un total de 16 muestras. En cuanto a los niveles de variación, el número 1 para el factor de °Brix corresponde a 31.3 y el nivel 2 a 83. En la columna de tipo de hidrocoloide, el nivel 1 corresponde a dextrana y el nivel 2 a la mezcla comercial de carragenina. Para el factor C, referente a concentración de hidrocoloide, el nivel 1 corresponde a 0.1% y el nivel 2 para 0.3%. En cuanto a la velocidad de agitación, el nivel 1 corresponde al mezclado con agitador de propela y el nivel 2 al mezclado con homogenizador. Finalmente para el factor de concentración de ácido cítrico, el nivel 1 corresponde a 2.5% y el nivel 2 a 5.0%.

Cuadro 2.7 Representación del arreglo ortogonal de acuerdo a la influencia de cada uno de los factores

Muestra	A °Brix 1	B Tipo de hidrocoloide 2	C Concentración de hidrocoloide 4	E Velocidad de Agitación 8	Concentración de ácido cítrico 15
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	1	2	1	2
4	1	1	2	2	1
5	1	2	1	1	2
6	1	2	1	2	1
7	1	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2
9	2	1	1	1	2
10	2	1	1	2	1
11	2	1	2	1	1
12	2	1	2	2	2
13	2	2	1	1	1
14	2	2	1	2	2
15	2	2	2	1	2
16	2	2	2	2	1

2.4.2 EFECTO DE CADA VARIABLE SOBRE EL TIPO DE HIDROCOLOIDE

Como ya se mencionó anteriormente, se evaluó de manera análoga el efecto de las variables (°Brix, concentración de ácido cítrico y velocidad de agitación), aunado al uso de un solo tipo de hidrocoloide, ya sea espesante (dextrana) o gelificante (carragenina), sobre las características reológicas, texturales, físicas y fisicoquímicas de la base de golosina semilíquida; pero nunca en combinación, que sería lo que representa la línea de interrelación número 6 de la Figura 2.6. Por esta razón, se completaron dos series de 16 experimentos, correspondiendo cada serie al hidrocoloide de estudio, siendo, ya sea el factor B el referente a dextrana o bien el factor C, concerniente a la mezcla comercial de carragenina. En este caso no se utilizaron todos los factores ni todas las interrelaciones, tal como se muestra en las Figuras 2.5, 2.6 y en el Cuadro 2.8.

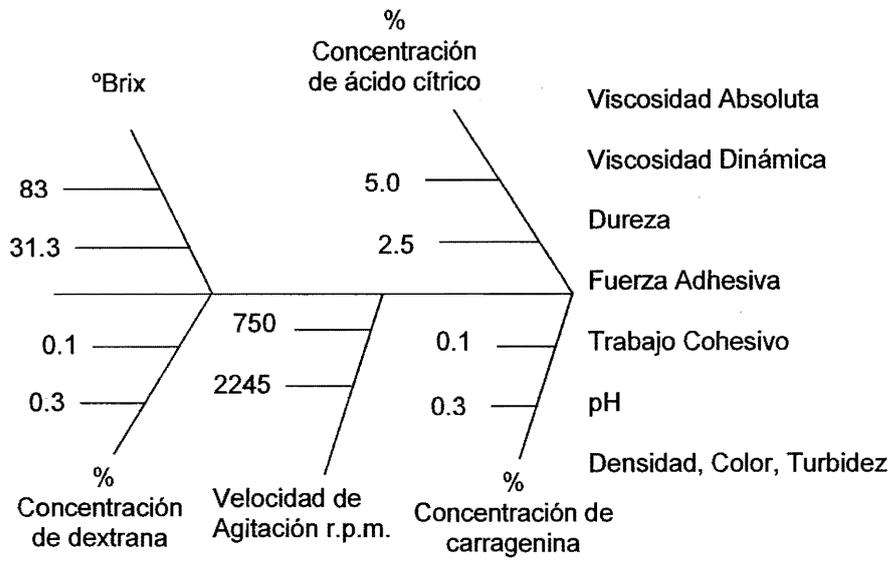


Figura 2.5 Diagrama de causa y efecto II

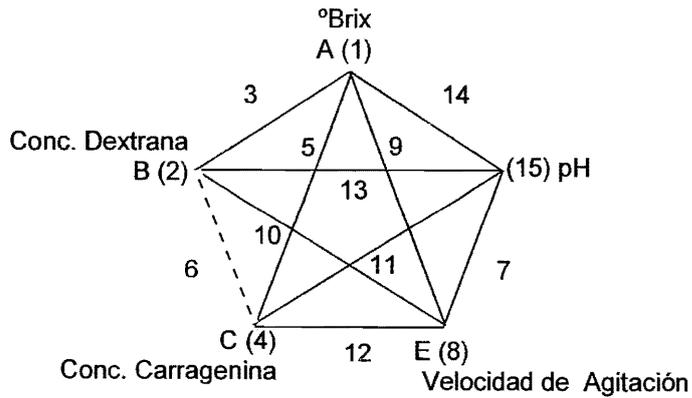


Figura 2.6 Diagrama ortogonal del arreglo lineal L₁₆-II

En el Cuadro 2.8, se resume el arreglo ortogonal utilizado para la realización del estudio, en donde se evaluaron de manera particular para cada uno de los hidrocoloides utilizados, el efecto de cada factor sobre las propiedades reológicas, texturales, físicas y fisicoquímicas de las bases de golosina semilíquida.

Para las formulaciones de las muestras en las que se empleó dextrana, se utilizaron las columnas A, B, E y concentración de ácido cítrico, omitiéndose la columna C. Para las muestras formuladas con carragenina, se utilizaron las columnas A, C, E y concentración de ácido cítrico y se hizo caso omiso a la columna B.

En el cuadro 2.8, la primera columna representa las 16 muestras preparadas para cada uno de los hidrocoloides. La segunda columna concierne a los °Brix, en donde el nivel 1 corresponde a 31.3 y el nivel 2 a 83. Para las muestras elaboradas con dextrana, el nivel 1 corresponde a la concentración de 0.1% y el nivel 2 a 0.3%. Para las muestras formuladas con carragenina, el nivel 1 corresponde a la concentración de 0.1% y el nivel 2 al 0.3%. En la columna de velocidad de agitación, el nivel 1 corresponde al mezclado con propela y el nivel 2 al mezclado con homogenizador. Para la columna de concentración de ácido cítrico, el nivel 1, corresponde a 2.5% y el nivel 2 a 5.0%.

Cuadro 2.8 Representación del arreglo ortogonal en base al tipo y concentración de hidrocoloide.

Muestra	A	B	C	E	Concentración de ácido cítrico
	°Brix	Dextrana	Carragenina	Velocidad de agitación	
	1	2	4	8	15
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	1	2	1	2
4	1	1	2	2	1
5	1	2	1	1	2
6	1	2	1	2	1
7	1	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2
9	2	1	1	1	2
10	2	1	1	2	1
11	2	1	2	1	1
12	2	1	2	2	2
13	2	2	1	1	1
14	2	2	1	2	2
15	2	2	2	1	2
16	2	2	2	2	1

2.5 PROPIEDADES REOLÓGICAS Y TEXTURALES

Para la evaluación de las propiedades reológicas y texturales de las bases de golosina semilíquidas obtenidas, se aplicaron los siguientes métodos:

Propiedades reológicas. Se evaluaron en dos tipos de reómetros dependiendo de la consistencia final obtenida. Las geometrías que se utilizaron fueron de cilindros concéntricos y placas paralelas. Las pruebas se realizaron bajo cizalla estacionaria, para la obtención de las propiedades de flujo, se aplicó un programa de ascenso descenso, en donde se controló el esfuerzo de cizalla a través del torque, en los intervalos de $1E-03$ a $3E-03$ mNm, para las muestras con 31.3° Brix; en tanto que para las muestras con 83° Brix, se controló la velocidad de cizalla en los intervalos de 1 a 45 s^{-1} . Bajo cizalla oscilatoria, con la finalidad de determinar las propiedades viscoelásticas, bajo las siguientes condiciones: Torque $1.5\text{ E-}03$ y un barrido de frecuencia de $5E-03$ a $5E-02$ Hz, para las muestras de 31.3° Brix y para las muestras de 83° Brix, un porcentaje de deformación del 12% y un barrido de frecuencia de $1E-01$ a $5E+02$. En el Cuadro 2.9 se presenta la descripción de los instrumentos empleados. En la columna denominada cantidad de muestra, se especifican los mililitros de muestra utilizados, de acuerdo al instrumento de medición y la prueba a realizar.

Propiedades Texturales. Se realizó un perfil de textura y una prueba específica de adhesividad y cohesividad. La geometría empleada fue un cilindro de acrílico de 2.54 cm de diámetro.

Las evaluaciones del análisis del perfil de textura, se realizaron bajo las siguientes condiciones: Velocidad de la prueba = 2mm/s, tiempo entre el primer y segundo ciclo = 10 s, distancia = 5 mm y fuerza de sensibilidad = 2g. La prueba de adhesividad se realizó bajo las condiciones: velocidad de compresión = 3 mm/s, velocidad de descompresión = 10 mm/s, fuerza = 500g, tiempo = 10 s, distancia = 30 mm, fuerza de sensibilidad= 10g

Cuadro 2.9. Instrumentos para la determinación de propiedades reológicas y texturales.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD DE MUESTRA
REÓMETRO PARA BAJAS VISCOSIDADES	PAAR PHYSICA LS-100 DE CILÍNDROS CONCÉNTRICOS	Geometría DG 1, $\varnothing_{INT}=48$ mm, $\varnothing_{EXT}=50$ mm, $h=36$ mm	8 ml
REÓMETRO PARA ALTAS VISCOSIDADES	PAAR PHYSICA MC-100 DE PLACAS PARALELAS	Geometría MP 31, $\varnothing=50$ mm, Separación entre placas 0.5 mm	2 ml
TEXTURÓMETRO	STABLE MICRO SYSTEMS TA-XT2	Dispositivo de acrílico de 2.54 cm (1")	PERFIL DE TEXTURA 11 ml ADHESIVIDAD 2 ml

2.6 PROPIEDADES FÍSICAS Y FISCOQUÍMICAS

Las propiedades, físicas y fisicoquímicas que se evaluaron fueron: °Brix, pH, densidad, color y turbidez. El objetivo de evaluar estas propiedades, para el caso de los °Brix, fue mantener un control en la proporción de sólidos totales de las 32 muestras elaboradas. En tanto que las otras propiedades, se evaluaron a fin de determinar las características finales de la golosina semifluida; ya que como se ha mencionado, este proyecto servirá como base para desarrollar otros productos con características similares.

La técnica de refractometría denominada de ángulo bajo, es la más comúnmente utilizada en la industria de alimentos. Su principio se basa en enviar un rayo de luz (monocromática de sodio) incidente, cuyo ángulo es de 90° a través de la muestra, ésta refracta o desvía el rayo de luz hacia el prisma del instrumento, con lo cual se determina el índice de refracción (Linden, 1996).

El método potenciométrico, se basa en la determinación del potencial que ocurre en un electrodo de vidrio, cuya parte activa es de aluminosilicato y que contiene distintas proporciones de SiO₂, Na₂O, Al₂O₃ y LiO₂. La medición se registra, debido al intercambio de iones entre la muestra y las partes tanto interna como externa de la membrana del electrodo, éste mide el pH específicamente el ion hidrógeno, el cual es directamente proporcional a la concentración de la muestra que va a ser medida (Linden, 1996).

La determinación de la densidad se efectuó por medio de la técnica basada en la ley de ondas armónicas, en la cual se induce una frecuencia resonante sobre un tubo capilar en "U", de volumen conocido que contiene a la muestra; la densidad de ésta, se obtiene

como respuesta a la frecuencia resonante emitida, la cual es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su masa (Anton-Paar, 2004).

La medición del color por medio del sistema CIE por sus siglas en francés (Commission Internationale de l'Eclairage), especifica el color por medio de tres valores triestímulos (X, Y, Z), que representan las cantidades de los tres colores primarios (rojo, verde y magenta). Cada uno de los valores triestímulos se divide por la sumatoria de todos, resultando las coordenadas de cromaticidad (x, y, z), de las cuales (x, y) describen al color y se grafican en un diagrama bidimensional de cromaticidad. La tercera dimensión que se refiere a brillantez u oscuridad, queda definida por Z.

Para la especificación del color, la reflectancia de una de onda luminosa de 10 nm, se multiplica por el respectivo valor de X, Y, Z de una fuente de luz estándar. Esto demuestra cuánta energía de cada longitud de onda de la fuente luminosa es reflejada por la muestra (Pomeranz, *et. al.*, 1987).

La turbidimetría utiliza una fuente de luz monocromática que se hace pasar a través de una celda en la que se coloca la muestra, de acuerdo a las características de esta última, se modifica la trayectoria del ángulo original del rayo de luz, resultado de las diferencias en los índices de refracción de la muestra y contenido de impurezas suspendidas en la misma; la desviación del rayo de luz, se recibe en un dispositivo que detecta, amplifica y convierte esta señal en señales eléctricas generalmente expresadas en unidades de turbidez (NTU) (Linden, 1996). En el Cuadro 2.10, se resumen las características de los instrumentos empleados para evaluar las propiedades físicas y fisicoquímicas de cada una de las muestras elaboradas.

Cuadro 2.10 Instrumentos para la determinación de propiedades físicas y fisicoquímicas.

EQUIPO	MARCA	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD DE MUESTRA
REFRACTÓMETRO ABBE-3L	MILTON ROY CO.ANALYTICAL PRODUCTS, BAUSH AND LOMB	115 V, 50/60 Hz I.R. 1.30-1.71 "D Sólidos 0 a 95%, 20°C	3 ml
POTENCIÓMETRO	Conductronic pH 120	Límites de pH= 0-14	15 ml
DENSÍMETRO	PAAR PHYSICA DMA38	Límite $\rho = 0-3 \text{ g/cm}^3$ Confianza del 95% (± 1 E-03 g/cm^3)	5 ml
COLORÍMETRO	Minolta CR-300	Receptores: 6 fotoceldas de silicón Fuente de iluminación: Lámpara de xenón Dispositivo de 8 mm de diámetro	30 ml
TURBIDÍMETRO	DRT-100B	Intervalo en NTU de 0- 1000 Sensibilidad 0.01 NTU Dispositivo de 28 mm de diámetro X 70 mm de largo	36 ml

CAPÍTULO III RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES PRELIMINARES.

De acuerdo a la actividad preliminar 1 descrita en el capítulo anterior, se observó que para que el hidrocoloide se hidrate adecuadamente, se requiere un porcentaje mínimo del 70% del total del agua de la formulación, a una temperatura de 25°C y un tiempo mínimo de hidratación de 30 minutos, por lo cual el orden de preparación es el primero. Después se preparó un jarabe de azúcar con el 30% restante del agua de la formulación y se calentó hasta una temperatura de 88.5-96°C, para posteriormente añadir el jarabe de alta fructuosa, incorporándolo a una temperatura de 117°C, con la finalidad de obtener la melaza deseada.

El orden de adición de los ingredientes se realizó de la siguiente manera: Primero se incorporó al jarabe de azúcar y agua, el jarabe de alta fructuosa, una vez que se observó una mezcla homogénea, se añadió el hidrocoloide previamente hidratado, cuando esta última mezcla quedó totalmente incorporada, se añadió el ácido cítrico (a temperatura ambiente) y la temperatura final del producto terminado fue de 54°C. La concentración de la base de golosina semilíquida fue el último paso, la finalidad es la evaporación del agua para obtener los °Brix requeridos para cada una de las 32 muestras preparadas.

En lo referente a la actividad preliminar 2 y con base al proceso final, se constató que a niveles bajos de hidrocoloide entre 0.1% y 0.3%, la consistencia para los dos niveles de °Brix (31.3 y 83) era aceptable, sin embargo los jarabes elaborados con xantana, presentaban turbidez, característica no deseada en el producto final; debido a esto se probaron otros hidrocoloides comerciales con los cuales se obtuviera la claridad y consistencia que se requieren en la base de golosina semilíquida, los hidrocoloides estudiados fueron: carboximetilcelulosa de sodio, alginato de sodio, gelana, dextrana y una mezcla comercial de carrageninas. Todos los hidrocoloides se probaron en los dos niveles de concentración (0.1% y 0.3%) fijados y para el proceso de elaboración establecido. Los hidrocoloides que proporcionaron transparencia y consistencia aceptables fueron, dextrana (hidrocoloide espesante) y la mezcla de carragenina κ y λ (hidrocoloide gelificante), motivo por lo cual estos dos hidrocoloides se seleccionaron para la formulación de la base de golosina semilíquida de este estudio.

3.2 PROPIEDADES REOLÓGICAS EN CIZALLA ESTACIONARIA

Las pruebas bajo cizalla estacionaria, se realizaron con la finalidad de determinar el patrón de flujo de las muestras de estudio. Es una prueba de suma importancia, ya que define el tipo de fluido, lo cual es indispensable para cálculos de ingeniería. Todas las muestras de estudio presentaron en general un comportamiento newtoniano y se evaluó la viscosidad absoluta (η en Pa s) por medio de una regresión lineal. En el Cuadro 3.1, se presentan los valores de viscosidad absoluta de las todas las muestras de estudio.

Cuadro 3.1 Valores de viscosidad absoluta de todas las muestras.

Carragenina 31.3°Bx		Carragenina 83°Bx		Dextrana 31.3°Bx		Dextrana 83°Bx	
No. De Muestra	η Pa s	No. De Muestra	η Pa s	No. De Muestra	η Pa s	No. De Muestra	η Pa s
1	3.2E-03	9	2.03E+01	1	3.7 E-03	9	1.58 E+01
2	2.9E-03	10	4.17 E+01	2	3.6 E-03	10	2.22 E+01
3	1.2E-02	11	1.87 E+01	3	3.9 E-03	11	1.83 E+01
4	3.1 E-03	12	2.95 E+01	4	4.3 E-03	12	1.37 E+01
5	3.7 E-03	13	2.31 E+01	5	5.0 E-03	13	1.54 E+01
6	3.3 E-03	14	1.29 E+01	6	4.4 E-03	14	2.01 E+01
7	6.4 E-03	15	2.91 E+01	7	5.6 E-03	15	1.86 E+01
8	3.2 E-03	16	2.8 E+01	8	4.6 E-03	16	1.07 E+01

3.2.1 CURVAS DE FLUJO DE LA GOLOSINA SEMILÍQUIDA ELABORADA CON CARRAGENINA

En las Figuras 3.1 y 3.2, se muestran las curvas de flujo realizadas a través del ascenso y descenso de la velocidad de cizalla, para las 16 formulaciones elaboradas con carragenina. En los Cuadros 3.2 y 3.3, se indican los niveles de los ingredientes y de la variable de proceso utilizados para cada una de las muestras de carragenina con 31.3 y 83°Brix, correspondientes a las Figuras 3.1 y 3.2, de manera respectiva.

Cuadro 3.2 Niveles de los factores de las muestras elaboradas con carragenina y 31.3°Brix

No.DE MUESTRA	°BRIX	CONCENTRACIÓN DE CARRAGENINA %	CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO %	VELOCIDAD DE AGITACIÓN r.p.m.
1	31.3	0.1	2.5	750
2	31.3	0.1	5.0	2245
3	31.3	0.3	5.0	750
4	31.3	0.3	2.5	2245
5	31.3	0.1	5.0	750
6	31.3	0.1	2.5	2245
7	31.3	0.3	2.5	750
8	31.3	0.3	5.0	2245

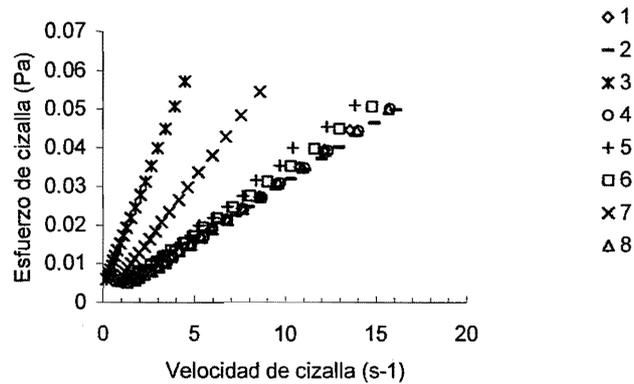


Figura 3.1. Curvas de flujo de muestras con carragenina y 31.3°Brix (los números 1 a 8 corresponden a las muestras especificadas en el cuadro 3.2)

Cuadro 3.3 Niveles de los factores de las muestras elaboradas con carragenina y 83°Brix

No.DE MUESTRA	°BRIX	CONCENTRACIÓN DE CARRAGENINA %	CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO %	VELOCIDAD DE AGITACIÓN r.p.m.
9	83	0.1	5.0	750
10	83	0.1	2.5	2245
11	83	0.3	2.5	750
12	83	0.3	5.0	2245
13	83	0.1	2.5	750
14	83	0.1	5.0	2245
15	83	0.3	5.0	750
16	83	0.3	2.5	2245

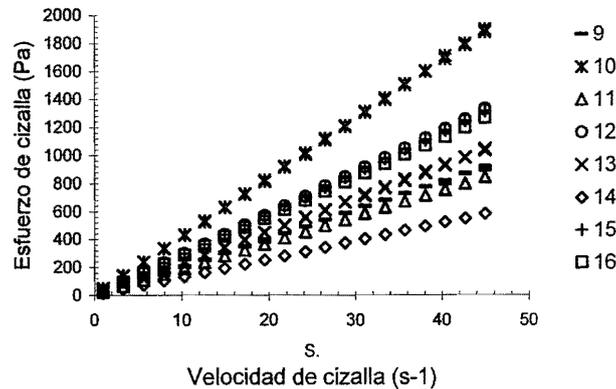


Figura 3.2. Curvas de flujo de muestras con carragenina y 83°Brix (los números 9 a 16 corresponden a las muestras especificadas del cuadro 3.3)

En la Figura 3.1, se observa que las curvas de ascenso-descenso se superponen, y en las formulaciones con 31.3°Brix elaboradas con carragenina, los mayores valores de viscosidad absoluta, están representados por las curvas 3 y 7, ambas tienen el nivel máximo de concentración de carragenina (0.3) y el nivel mínimo de velocidad de agitación (750 r.p.m.). La diferencia entre estas dos muestras radica en que para el caso de la número 3, que presenta el mayor valor de viscosidad de este grupo (con 31.3°Brix), contiene el nivel más alto de concentración de ácido cítrico.

En la Figura 3.2, se distingue que las muestras de carragenina con 83°Brix, presentan mayores diferencias de viscosidad entre sí. Apreciando que el mayor valor de viscosidad fue exhibido por la muestra 10, la cual tiene el nivel mínimo de concentración de carragenina, la máxima velocidad de agitación y el mínimo nivel de concentración de ácido cítrico. En tanto que la muestra 14 (nivel mínimo de carragenina, máxima velocidad de agitación y máximo nivel de ácido cítrico) presentó la menor viscosidad.

En el Cuadro 3.1, se puede observar que los valores de viscosidad obtenidos con la mezcla de carrageninas a 31.3°Brix, son muy cercanos a 0.003 Pa s, excepto en la muestra 7 en donde se duplica este valor y en la número 3, que se triplica. En lo que respecta a las muestras de carragenina con el nivel máximo de °Brix, se puede apreciar

que el mayor valor de viscosidad se obtuvo para la muestra 10, correspondiendo a 41.8 Pa s, mientras que el menor valor fue para la muestra 14 con 12.9 Pa s.

3.2.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.4 se presenta el resultado del análisis estadístico aplicado, en relación a la influencia de los factores sobre la viscosidad absoluta, para las muestras elaboradas con carragenina.

Cuadro 3.4 Resultado del análisis estadístico de pruebas en cizalla estacionaria de muestras elaboradas con carragenina

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
°Brix	91.27
Concentración de carragenina	0.11
Velocidad de agitación	0.97
Concentración de ácido cítrico	0.85
°Brix/ Concentración de carragenina	0.11
°Brix/ Velocidad de agitación	0.97
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	0.85
°Brix/ Concentración de carragenina/ Velocidad de agitación	5.4E-03
°Brix/ Concentración de carragenina/ Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	0.66
Concentración de carragenina/ Velocidad de agitación	5.6E-03
Concentración de carragenina/ Concentración de ácido cítrico	4.17
Error	2.70

El análisis mostró que la viscosidad absoluta de todas las muestras elaboradas con carragenina, se vio determinada principalmente por el factor de °Brix (91.27%), seguido de la interacción de la concentración de ácido cítrico con concentración de carragenina, cuyo porcentaje de influencia es del 4.17.

De acuerdo a las gráficas, puede observarse que para las formulaciones de 1 a 8 (31.3° Brix elaboradas con carragenina), los factores que tienen influencia sobre la viscosidad absoluta de las muestras son: velocidad de agitación, ya que el mayor nivel de agitación representa los menores valores de viscosidad; concentración de ácido cítrico, puesto que a mayores niveles de ácido cítrico, las muestras exhiben mayores valores de viscosidad.

Para las muestras 9-16 (83° Brix elaboradas con carragenina), los factores que ejercen influencia sobre la misma propiedad de estudio son: la concentración de carragenina, el mayor nivel de agitación, que determina menores valores de viscosidad. Cabe notar que

para este último grupo de muestras, el factor de porcentaje de ácido cítrico no presentó influencia significativa.

3.2.2 CURVAS DE FLUJO DE LA GOLOSINA SEMILÍQUIDA ELABORADA CON DEXTRANA

En las Figuras 3.3 y 3.4, se exhiben las curvas de flujo realizadas a través del ascenso y descenso de la velocidad de cizalla, para todas las muestras que contienen dextrana y que se encuentran especificadas en los Cuadros 3.5 y 3.6, respectivamente.

En la Figura 3.3, se presentan las curvas de flujo para las muestras con 31.3°Brix, elaboradas con dextrana. En esta figura, se observa que las curvas de ascenso y descenso presentaron una ligera separación, la cual no puede ser considerada como tixotropía, debido a que se determinó una diferencia menor al 10% cuando se compararon las áreas bajo la curva. Este comportamiento pudiera atribuirse al alto peso molecular del hidrocoloide utilizado, aunado a la baja concentración de °Brix; comportamiento que no se presentó en las muestras elaboradas con el mismo hidrocoloide a alta concentración de °Brix, ni en las mezclas elaboradas con carragenina. La viscosidad se calculó con la curva promedio entre el ascenso y descenso. En estas ocho curvas es perceptible la homogeneidad entre las muestras y que a diferencia de la muestras de 31.3°Brix elaboradas con carragenina, todos los patrones de flujo si parten del origen, pudiéndose observar que todas están dentro de un intervalo de esfuerzo de cizalla entre 2.1 y 2.3 Pa, el cual es mucho mayor al ser comparado con el intervalo de esfuerzo de cizalla, registrado para las muestras con 31.3°Brix, elaboradas con carragenina.

Cuadro 3.5 Niveles de los factores de las muestras elaboradas con dextrana y 31.3°Brix

No. De MUESTRA	°BRIX	CONCENTRACIÓN DE DEXTRANA %	CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO %	VELOCIDAD DE AGITACIÓN r.p.m.
1	31.3	0.1	2.5	750
2	31.3	0.1	5.0	2245
3	31.3	0.1	5.0	750
4	31.3	0.1	2.5	2245
5	31.3	0.3	5.0	750
6	31.3	0.3	2.5	2245
7	31.3	0.3	2.5	750
8	31.3	0.3	5.0	2245

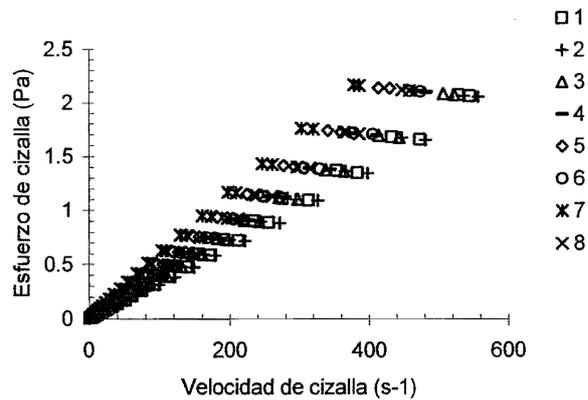


Figura 3.3 Curvas de flujo de muestras con dextrana y 31.3°Brix (los números del 1 al 8, representan a las muestras correspondientes al cuadro 3.5)

Cuadro 3.6 Niveles de los factores para las muestras elaboradas con dextrana y 83°Brix

No. DE MUESTRA	°BRIX	CONCENTRACIÓN DE DEXTRANA %	CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO %	VELOCIDAD DE AGITACIÓN r.p.m.
9	83	0.1	5.0	750
10	83	0.1	2.5	2245
11	83	0.1	2.5	750
12	83	0.1	5.0	2245
13	83	0.3	2.5	750
14	83	0.3	5.0	2245
15	83	0.3	5.0	750
16	83	0.3	2.5	2245

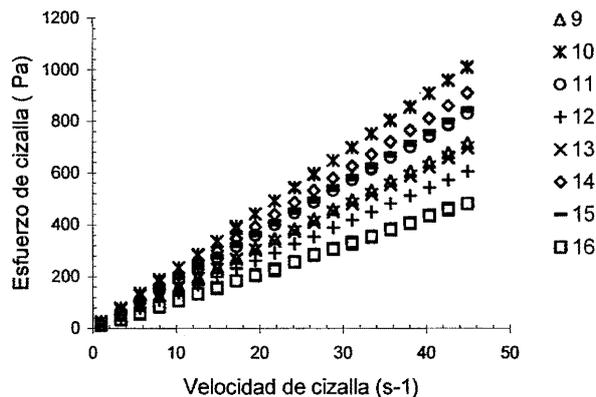


Figura 3.4 Curvas de flujo de muestras con dextrana y 83°Brix (los números del 9 al 16, representan a las muestras correspondientes al cuadro 3.6)

En la Figura 3.4, se muestran las ocho curvas que representan las formulaciones de 83°Brix elaboradas con dextrana, en las cuales no se exhibió la separación entre las curvas de ascenso y descenso que presentaron las ocho muestras elaboradas con dextrana y 31.3°Brix.

La muestra que presentó el mayor valor de viscosidad absoluta fue la 10, en tanto que la muestra que exhibió el menor valor, fue la número 16, que extrañamente corresponden al nivel bajo y alto de concentración de dextrana, respectivamente, manteniendo constantes la mayor velocidad de agitación y el menor nivel de concentración de ácido cítrico. En comparación con las muestras elaboradas con carragenina y 83°Brix, éstas presentan mayor homogeneidad entre sí, a excepción de la muestra número 10, que presenta el mayor esfuerzo de cizalla (1980 Pa), en tanto que las restantes se encuentran en intervalos de entre 580 a 1400 Pa.

3.2.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.7 se muestra el resultado del análisis estadístico con respecto a la influencia de los factores e interrelaciones con la viscosidad absoluta, para todas las muestras de dextrana.

Cuadro 3.7 Resultado del análisis estadístico de pruebas en cizalla estacionaria de muestras elaboradas con dextrana

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
°Brix	95.57
Concentración de dextrana	0.13
Velocidad de agitación	1.7E-02
Concentración de ácido cítrico	8.4E-03
°Brix/ Concentración de dextrana	0.13
°Brix/ Velocidad de agitación	1.7E-02
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	8.4E-03
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	0.11
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	0.83
Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	0.11
Concentración de dextrana/ Concentración de ácido cítrico	3.05
Error	4.87E-04

El análisis de muestras elaboradas con dextrana, indica que la concentración de °Brix tiene una influencia mayoritaria (95.6%), seguida de la interacción de concentración de dextrana con ácido cítrico.

De acuerdo a los gráficos de las muestras de bajos niveles de °Brix (con 31.3°Brix elaboradas con dextrana), se aprecia que aquellas que presentaron los mayores valores de viscosidad absoluta fueron: 5, 6, 7 y 8, debido a que contienen los niveles máximos de concentración de dextrana. Además cabe señalar que las mayores viscosidades fueron representadas por las muestras elaboradas con el nivel mínimo de velocidad de agitación. En los ocho casos el factor de concentración de ácido cítrico, no tuvo influencia significativa.

Para las ocho muestras (9-16), elaboradas con dextrana con 83°Brix, la concentración del hidrocoloide al igual que la velocidad de agitación no presentaron influencia significativa; sin embargo, los mayores valores de viscosidad lo exhibieron las muestras con los mayores niveles de concentración de ácido cítrico.

De manera comparativa, afirmamos que las muestras elaboradas con dextrana y con un contenido de °Brix de 31.3, presentan mayores valores de viscosidad absoluta que las muestras elaboradas con carragenina a la misma concentración de °Brix.

Para el caso de las muestras preparadas con dextrana pero con 83°Brix, se observa el efecto contrario, ya que éstas presentan menores valores de viscosidad que las muestras que contienen carragenina y 83°Brix.

3.3 PRUEBAS OSCILATORIAS

El objetivo de aplicar pruebas oscilatorias es obtener una evaluación completa de las propiedades reológicas, ya que por medio de estas pruebas puede determinarse la naturaleza viscoelástica del material analizado.

Las 32 muestras de estudio fueron sometidas a este tipo de prueba, para determinar el predominio de las características viscosas sobre las elásticas, debido a que las muestras de estudio contienen hidrocoloides, los cuales se cree que pueden aportar características elásticas. Sin embargo, todas las muestras presentaron en los espectros mecánicos un comportamiento predominantemente viscoso, el cual es representado por la viscosidad dinámica expresada como (η' , Pa s).

Cuadro 3.8 Valores de viscosidad dinámica de todas las muestras.

Carragenina 31.3°Bx		Carragenina 83°Bx		Dextrana 31.3°Bx		Dextrana 83°Bx	
No. De Muestra	η' Pa s	No. De Muestra	η' Pa s	No. De Muestra	η' Pa s	No. De Muestra	η' Pa s
1	3.58E-03	9	2.13E+01	1	4.76E-03	9	1.52E+01
2	1.11E-02	10	4.08E+01	2	4.09E-03	10	2.73E+01
3	1.64E-02	11	2.20E+01	3	5.19E-03	11	1.90E+01
4	4.01E-03	12	1.92E+01	4	5.81E-03	12	1.21E+01
5	4.25E-03	13	1.92E+01	5	5.66E-03	13	1.72E+01
6	4.11E-03	14	1.22E+01	6	2.06E-02	14	1.71E+01
7	7.22E-03	15	2.57E+01	7	8.45E-03	15	1.81E+01
8	3.63E-03	16	2.35E+01	8	5.89E-03	16	1.29E+01

En las Figuras 3.5 a la 3.8, se presentan los resultados de las pruebas en cizalla oscilatoria para todas las muestras de estudio. Se clasifican con relación al contenido de °Brix y al hidrocoloide que se incluyó en su preparación.

3.3.1 VISCOSIDAD DINÁMICA DE MUESTRAS ELABORADAS CON CARRAGENINA

La Figura 3.5 reúne el componente viscoso, obtenido a través de las mediciones oscilatorias de deformación de las ocho muestras con un contenido de 31.3°Brix, elaboradas a base de carragenina.

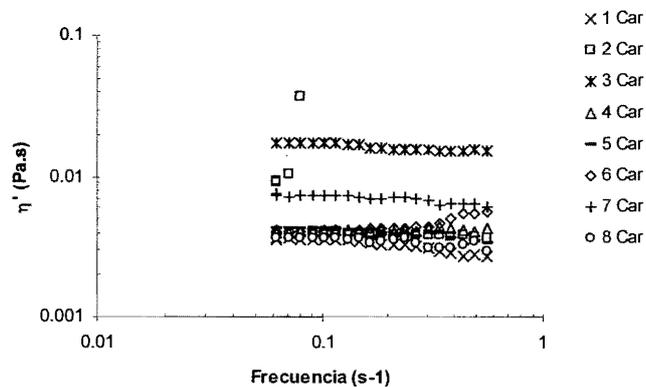


Figura 3.5 Viscosidad dinámica de muestras con carragenina y 31.3°Brix (los números 1 a 8 corresponden a las muestras especificadas en el cuadro 3.2)

En los espectros mecánicos se observó un claro comportamiento viscoso, debido a que éste predomina en tres ciclos de diferencia con respecto al componente elástico, además de presentar mucha fluctuación. Motivo por el cual sólo se presenta el componente viscoso.

Los mayores valores de viscosidad dinámica son para el experimento 3, lo cual concuerda con las pruebas rotacionales.

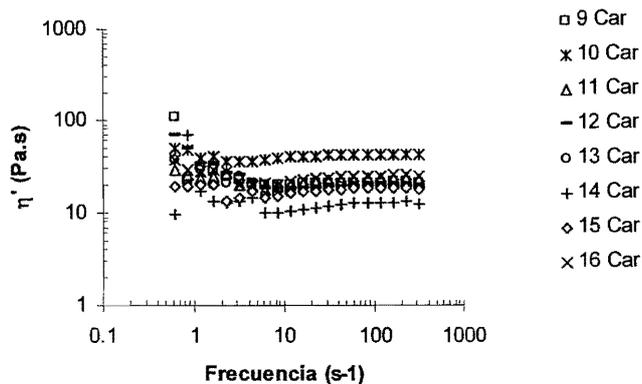


Figura 3.6 Viscosidad dinámica de muestras de carragenina y 83°Brix (los números 9 a 16 corresponden a las muestras especificadas del Cuadro 3.3)

Los espectros mecánicos demostraron un predominio del componente viscoso sobre el elástico, este último también presentó mucha distorsión.

Dentro de las mediciones en cizalla oscilatoria en todas las muestras, los valores de viscosidad dinámica se localizaron entre $1.00E+01$ Pa s y los valores de viscosidad debida al componente fuera de fase de la viscosidad compleja (η'') para todas las muestras, a excepción del experimento 12 cuya (η'') se mantuvo por debajo de $1.00E+01$ Pa s, se localizaron entre valores de $1.00E-02$ a $1.00 E+00$ Pa s.

La mayor viscosidad dinámica corresponde al experimento 10, confirmando lo expuesto por las curvas de flujo para las mismas muestras analizadas.

3.3.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.9 se muestra el resultado del análisis estadístico sobre la influencia de los factores en la viscosidad dinámica, aplicado en las muestras formuladas con carragenina.

Cuadro 3.9 Resultado del análisis estadístico de pruebas en cizalla oscilatoria de muestras elaboradas con carragenina

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
°Brix	90.87
Concentración de carragenina	2.6E-02
Velocidad de agitación	0.15
Concentración de ácido cítrico	1.96
°Brix/ Concentración de carragenina	2.6E-02
°Brix/ Velocidad de agitación	0.15
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	1.97
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	0.82
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	1.38
Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	0.83
Concentración de carragenina / Concentración de ácido cítrico	1.79
Error	4.41

Los valores de viscosidad dinámica obtenidos a partir de los espectros mecánicos para las 16 muestras elaboradas con carragenina, dependen de igual manera que en las pruebas rotacionales, en su mayor parte del factor de °Brix (90.87%), seguido de la interacción de °Brix y concentración de ácido cítrico.

En el caso de las muestras de carragenina con 31.3°Brix, los valores de viscosidad dinámica son mayores en las muestras que contienen los mayores niveles de porcentaje de ácido cítrico. La velocidad de agitación no fue determinante para la viscosidad dinámica.

A través de las gráficas, se puede apreciar que para este grupo de muestras, las formulaciones que incluyeron todos los niveles extremos (mínimos y máximos, respectivamente) de los factores, presentaron en ambos casos los menores valores de viscosidad dinámica.

Los mayores valores de viscosidad dinámica se obtuvieron para la muestra 3, que presenta mayor concentración de carragenina y de ácido cítrico, así como menor nivel de velocidad de agitación, y la muestra 7 que contiene el mayor nivel de concentración de carragenina.

En lo referente a las muestras preparadas con carragenina y con 83°Brix, los valores de viscosidad dinámica más altos, son para las formulaciones con el máximo nivel de concentración de carragenina, a excepción del experimento 10.

El análisis estadístico, demuestra que el factor de velocidad de agitación no ejerce influencia determinante y que los menores niveles de concentración de ácido cítrico, determinan las viscosidades dinámicas más altas.

3.3.2 VISCOSIDAD DINÁMICA DE MUESTRAS ELABORADAS CON DEXTRANA

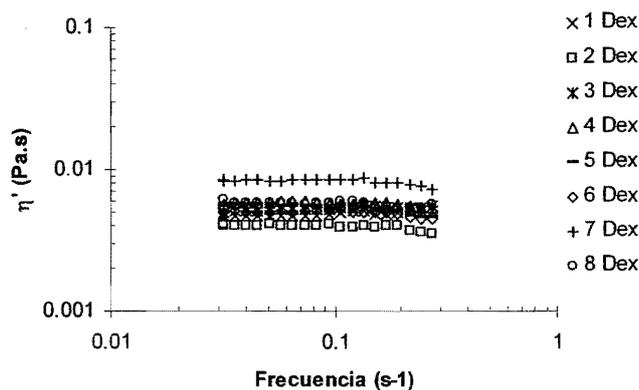


Figura 3.7 Viscosidad dinámica de muestras de dextrana y 31.3°Brix (los números del 1 al 8, representan a las muestras correspondientes al Cuadro 3.5)

En los espectros mecánicos, se observó igualmente un predominio del componente viscoso sobre el elástico (separación encontrada de dos ciclos), además de que la curva del componente elástico presentó mucha distorsión.

Los valores de viscosidad dinámica para estas muestras son uniformes, es decir que la mayoría de ellas se superponen, a excepción de la número 6 que presenta el mayor valor de viscosidad dinámica seguido de la 7, ratificando con esta última muestra, el resultado obtenido en las curvas de flujo.

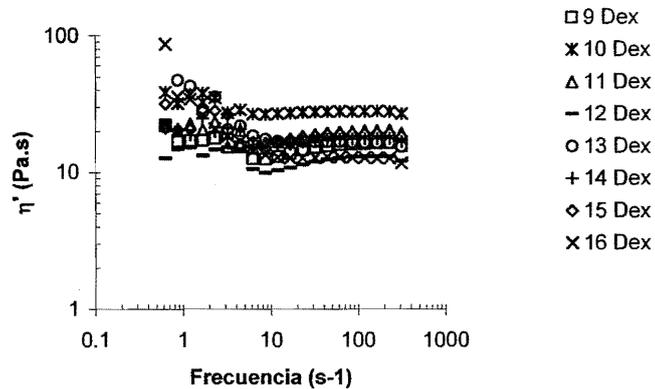


Figura 3.8 Viscosidad dinámica de muestras de dextrana y 83°Brix (los números del 9 al 16, representan a las muestras correspondientes al Cuadro 3.6)

En los espectros mecánicos de estas muestras, se estableció un total predominio del componente viscoso sobre el elástico, al situarse este último tres ciclos abajo del primero. La curva que representa al módulo elástico, se caracteriza por tener aún más distorsión al hacer la comparación con las respectivas muestras de 83°Brix que contienen carragenina. Las mediciones oscilatorias, nuevamente confirman mayor homogeneidad entre muestras, si se realiza una comparación con respecto a las muestras con 83°Brix elaboradas con carragenina.

La muestra que presentó el mayor valor de viscosidad dinámica al igual que en los reogramas fue la número 10.

3.3.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.10 se exhibe el resultado del análisis estadístico sobre la influencia de los factores en la viscosidad dinámica, aplicado en las muestras de dextrana.

Cuadro 3.10 Resultado del análisis estadístico de pruebas en cizalla oscilatoria de muestras elaboradas con dextrana.

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
°Brix	92.6
Concentración de dextrana	0.33
Velocidad de agitación	2.32E-05
Concentración de ácido cítrico	0.93
°Brix/ Concentración de dextrana	0.34
°Brix/ Velocidad de agitación	4.25E-05
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	0.92
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	0.53
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	1.03
Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	0.53
Concentración de dextrana/ Concentración de ácido cítrico	2.78
Error	0.31

En lo que respecta al análisis estadístico para las 16 muestras hechas con dextrana, se observa que el factor °Brix tiene una influencia de (92.6%), seguido de la interacción de dextrana y porcentaje de ácido cítrico, sobre los valores de viscosidad dinámica.

Para el caso de muestras de 31.3°Brix, elaboradas con dextrana, se observa en los gráficos que los mayores valores de viscosidad dinámica, se obtienen en las muestras que contienen el mayor nivel de concentración de dextrana y el nivel mínimo de porcentaje de ácido cítrico; la velocidad de agitación no tiene un efecto determinante sobre la viscosidad dinámica.

El mayor valor de viscosidad dinámica se logró en la muestra 6, que contiene máximo nivel de concentración de dextrana, mínimo nivel de concentración de ácido cítrico y mayor nivel de velocidad de agitación.

El análisis de las muestras formuladas con dextrana y 83°Brix, demuestra que a menores niveles de porcentaje de ácido cítrico y de velocidad de agitación, a excepción de la muestra número10, todas exhiben mayor valor de viscosidad dinámica.

En este grupo de muestras, el mayor valor de viscosidad dinámica lo presentó la muestra 10, la cual contiene el mínimo nivel de concentración de dextrana, máximo valor de velocidad de agitación y nivel mínimo de porcentaje de ácido cítrico.

El análisis estadístico, demuestra que los mayores valores de viscosidad dinámica al compararlos con las muestras preparadas con carragenina y con 31.3°Brix, son para las formulaciones elaboradas con dextrana y 31.3°Brix. En tanto que las muestras hechas con dextrana pero con 83°Brix, representan menores valores de viscosidad dinámica, al ser comparados con los valores de viscosidad dinámica de muestras de 83°Brix elaboradas con carragenina. Lo anterior concuerda con la información obtenida de las pruebas rotacionales.

3.4 PRUEBAS TEXTURALES

Estas pruebas se realizaron para las 32 muestras de estudio. Primero se efectuó la prueba de Análisis del Perfil de Textura (TPA). Todas las muestras presentaron los dos ciclos correspondientes de la prueba, de igual manera para todas las evaluaciones se presentó como característica textural de gran importancia la parte adhesiva, motivo por el cual se analizó específicamente esta propiedad en una prueba propia de adhesividad.

3.4.1 ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Este tipo de evaluación representa dos ciclos de compresión, dentro de los cuales es posible estudiar las características texturales de los materiales.

Para los objetivos del estudio que se sustenta y de acuerdo a la naturaleza de semifluido del producto, únicamente se evaluó con esta prueba la dureza de todas las muestras.

Las muestras preparadas tanto con carragenina como con dextrana que contienen el nivel mínimo de °Brix (31.3), presentaron una curva distinta a la de las muestras con el contenido máximo de °Brix (83), elaboradas con los mismos hidrocoloides de manera respectiva. La explicación a lo anterior se debe a la naturaleza de las muestras.

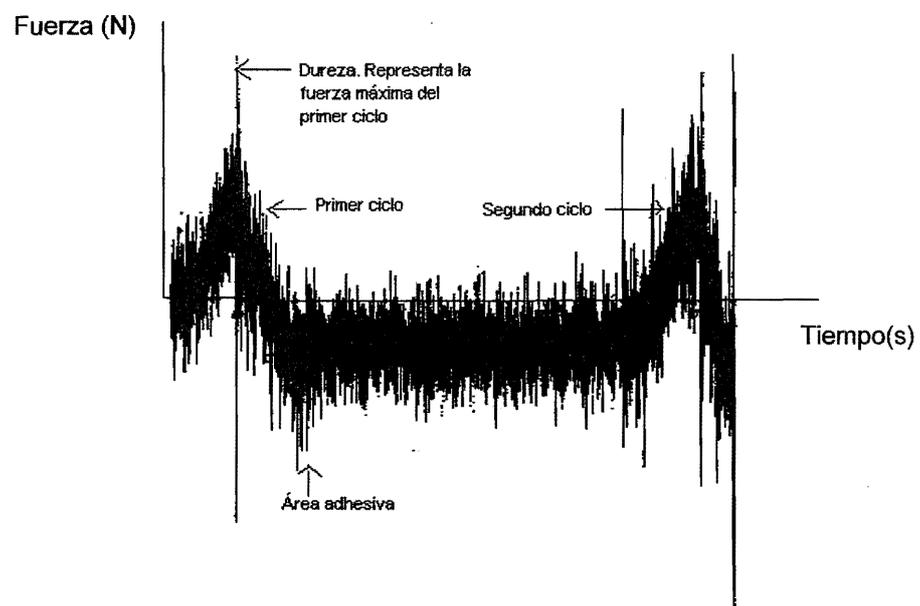


Figura 3.9 Representación gráfica de curvas de TPA de muestras de 31.3°Brix

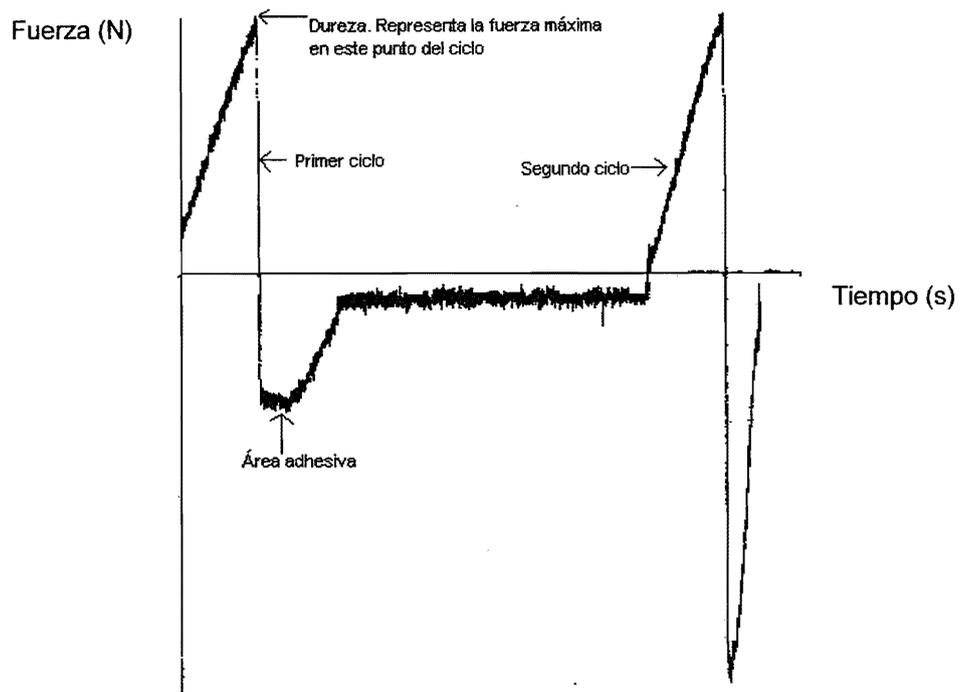


Figura 3.10 Representación gráfica de curvas de TPA de muestras de 83°Brix.

En las siguientes figuras se presentan las curvas de TPA de todas las muestras de estudio, éstas se clasifican de acuerdo al contenido de °Brix y al hidrocóloide utilizado para su elaboración.

3.4.1.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.12 se presenta el resultado del análisis estadístico sobre la influencia de los parámetros texturales (dureza, fuerza adhesiva y trabajo cohesivo) aplicado en las muestras de carragenina.

Cuadro 3.12 Resultado del análisis estadístico de pruebas texturales de muestras elaboradas con carragenina.

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
	DUREZA	FUERZA ADHESIVA	TRABAJO COHESIVO
°Brix	88.81	95.25	97.8
Concentración de carragenina	1.22	0.51	0.19
Velocidad de agitación	0.35	6.7E-02	6.0E-03
Concentración de ácido cítrico	0.92	0.61	0.86
°Brix/ Concentración de carragenina	2.08	6.4E-02	0.2
°Brix/ Velocidad de agitación	2.48E-02	0.32	2.79E-02
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	1.05	4.5E-03	0.14
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	0.77	0.39	0.75
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	4.73	1.0E-04	1.2E-02
Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	1.1E-02	1.36	0.52
Concentración de carragenina / Concentración de ácido cítrico	2.9E-02	1.39	0.25
Error	5.08	2.8E-02	0.87

La dureza como parámetro representativo de las curvas de TPA para todas las muestras que contienen carragenina, depende en 88.81% de los °Brix, seguido por la interacción de todos los factores en conjunto.

En comparación con las muestras elaboradas con dextrana, las formulaciones preparadas con carragenina presentan mayores valores de dureza.

De acuerdo a los datos obtenidos por el método estadístico y representado en la Figura 3.11, el mayor valor de dureza corresponde a la muestra 4, que tiene los máximos valores de los factores concentración de carragenina y velocidad de agitación, pero el valor mínimo de porcentaje de ácido cítrico. A excepción de la muestra antes mencionada, los máximos niveles de los factores concentración de ácido cítrico y velocidad de agitación, influyen sobre los mayores valores de dureza de las muestras fabricadas a base de carragenina y con 31.3°Brix.

3.4.1.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 3.13 se muestra el resultado del análisis sobre la influencia de los factores en los parámetros texturales, aplicado en las muestras de dextrana.

Cuadro 3.13 Resultado del análisis estadístico de pruebas texturales de muestras elaboradas con dextrana.

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
	DUREZA	FUERZA ADHESIVA	TRABAJO COHESIVO
°Brix	92.99	99.57	93.06
Concentración de dextrana	2.09	2.2E-02	1.71
Velocidad de agitación	0.46	9.0E-02	0.11
Concentración de ácido cítrico	0.52	8.7E-02	0.17
°Brix/ Concentración de dextrana	1.86	1.9E-02	2.46
°Brix/ Velocidad de agitación	5.7E-02	0.12	0.3
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	7.9E-04	6.3E-02	8.8E-02
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	7.5E-02	4.86E-03	9.0E-02
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	1.17	2.2E-04	1.47
Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	1.9E-03	9.1E-03	7.0E-03
Concentración de dextrana/ Concentración de ácido cítrico	0.77	4.16E-3	0.52
Error	4.0E-03	2.08E-03	0.17

Para las muestras que contienen dextrana, la dureza se ve determinada en 93% por el factor de °Brix, seguido de la concentración de dextrana.

En las muestras con 31.3°Brix, elaboradas con dextrana, el mayor valor de dureza es representado por la número 5, la cual tiene los niveles máximos de concentración de dextrana y porcentaje de ácido cítrico y el mínimo de velocidad de agitación.

En la Figura 3.13, se determina que los mayores valores de dureza, dependen de que las muestras incluyan los menores niveles de velocidad de agitación y los máximos valores de porcentaje de ácido cítrico. Con lo anterior se deduce que existe una influencia entre los factores de concentración de dextrana, mínimas velocidades de agitación y máximos niveles de porcentaje de ácido cítrico.

Con lo que respecta a las formulaciones de dextrana con 83°Brix, a excepción de la muestra 11, que presenta el mayor valor de dureza. Los mayores valores de dureza corresponden a las muestras que contienen el nivel máximo de porcentaje de ácido

cítrico. Para las muestras representadas en la Figura 3.14, el factor de velocidad de agitación no fue determinante para los valores de dureza.

3.4.2 CURVAS DE ADHESIVIDAD

De acuerdo a los datos obtenidos a partir del TPA, se observa que la adhesividad es una característica textural importante en las muestras de estudio, motivo por el cual se sometieron a las 32 muestras a una prueba específica de adhesividad. A partir de la curva y de los datos propios de la prueba, se dispone que la cohesividad es otra notable propiedad de las muestras.

Por lo tanto de esta prueba se extrajeron dos parámetros texturales para todas las muestras, la fuerza adhesiva y el trabajo cohesivo.

Cabe mencionar que todas las muestras presentaron la misma tendencia de la curva, únicamente que para todas las formulaciones con el nivel mínimo del factor °Brix, tanto las que se elaboraron con carragenina como las que se prepararon con dextrana, fue necesario realizar un ampliación de la curva, para poder señalar de manera clara las propiedades texturales mencionadas anteriormente.

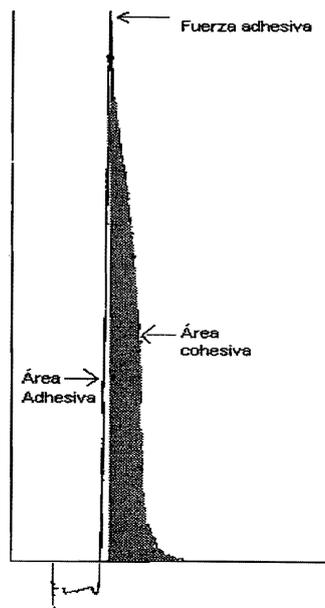


Figura 3.15 Representación Gráfica de las Curvas de Adhesividad

Cuadro 3.14 Valores de fuerza adhesiva y trabajo cohesivo de muestras elaboradas con carragenina.

Carragenina 31.3°Brix		Carragenina 83°Brix		Carragenina 31.3°Brix		Carragenina 83°Brix	
No. De Muestra	Fuerza adhesiva N	No. De Muestra	Fuerza adhesiva N	No. De Muestra	Trabajo Cohesivo Ns	No. De Muestra	Trabajo Cohesivo Ns
1	3.1967	9	51.7466	1	0.0409	9	5.5113
2	8.2820	10	53.4477	2	0.0792	10	4.256
3	9.0999	11	47.5345	3	0.1039	11	3.3342
4	7.1387	12	39.8865	4	0.0808	12	4.0207
5	13.7662	13	39.9334	5	0.1078	13	4.0795
6	15.8913	14	44.5037	6	0.1225	14	4.1874
7	17.8137	15	41.0183	7	0.1784	15	4.1285
8	0.2604	16	46.8958	8	0.3942	16	5.021

Cuadro 3.15 Valores de fuerza adhesiva y trabajo cohesivo de muestras elaboradas con dextrana.

Dextrana 31.3°Brix		Dextrana 83°Brix		Dextrana 31.3°Brix		Dextrana 83°Brix	
No. De Muestra	Fuerza adhesiva N	No. De Muestra	Fuerza adhesiva N	No. De Muestra	Trabajo Cohesivo Ns	No. De Muestra	Trabajo Cohesivo Ns
1	3.7785	9	43.2366	1	0.0471	9	4.2462
2	3.3543	10	42.4487	2	0.0454	10	4.7954
3	4.1369	11	44.1515	3	0.0507	11	4.4129
4	3.6640	12	39.8529	4	0.0378	12	4.7366
5	3.1970	13	43.5531	5	0.0332	13	4.3247
6	4.3713	14	38.7397	6	0.0544	14	3.9814
7	3.0866	15	41.8047	7	0.0481	15	4.5502
8	3.5437	16	41.8124	8	0.0454	16	3.9618

3.4.2.1 CURVAS DE ADHESIVIDAD DE MUESTRAS ELABORADAS CON CARRAGENINA

En las Figuras 3.16 y 3.17, se representan las curvas de adhesividad correspondientes a las muestras preparadas con carragenina de 31.3°Brix y 83°Brix, respectivamente.

3.4.2.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para todas las muestras elaboradas con carragenina, el factor determinante para la fuerza adhesiva, fue °Brix (95%), seguido de la interacción de carragenina y porcentaje de ácido cítrico.

Para las muestras elaboradas con carragenina con 31.3°Brix, el valor máximo de fuerza adhesiva es para el experimento 7, el cual contiene el nivel máximo de carragenina y los niveles mínimos de velocidad de agitación y porcentaje de ácido cítrico.

En lo referente a las muestras preparadas con carragenina y 83°Brix, la mayor fuerza adhesiva fue presentada por el experimento 10, que incluye los niveles mínimos de concentración de carragenina y porcentaje de ácido cítrico y el máximo valor de velocidad de agitación.

Afirmando que en el caso de la Figura 3.17, los factores decisivos para la fuerza adhesiva son cuando se presentan las mayores velocidades de agitación y los mínimos valores de porcentaje de ácido cítrico.

El trabajo cohesivo depende del factor °Brix (98%), seguido de la interacción de °Brix, concentración de carragenina y velocidad de agitación.

Para las muestras con carragenina y 31.3°Brix, nuevamente el experimento 7 representa el mayor valor de trabajo cohesivo, en tanto que el menor valor es para el experimento 8, que contiene los niveles máximos de todos los factores. Con lo anterior precisamos que los mayores valores de trabajo cohesivo, se deben a las mínimas velocidades de agitación y a la interacción de máximas concentraciones de carragenina, menores valores de velocidad de agitación y de porcentaje de ácido cítrico.

El mayor valor de trabajo cohesivo para las muestras elaboradas con carragenina y 83°Brix, lo manifiesta la muestra 9, la cual implica los niveles mínimos de carragenina y velocidad de agitación y el máximo nivel de porcentaje de ácido cítrico.

En la Figura 3.19, el máximo valor de fuerza adhesiva lo presenta la muestra 11, la cual incluye los niveles mínimos de concentración de dextrana, velocidad de agitación y porcentaje de ácido cítrico.

Los factores decisivos para este grupo de muestras, en los mayores valores de fuerza adhesiva son: Nivel mínimo de porcentaje de ácido cítrico, valor mínimo de velocidad de agitación y las interacciones de mínima concentración de dextrana con la mínima velocidad de agitación.

El trabajo cohesivo de las muestras formuladas con dextrana es principalmente determinado por el factor °Brix (93%), seguido de la interacción de dextrana con velocidad de agitación.

Para las muestras representadas en la Figura 3.18, el mayor trabajo cohesivo, lo expresa la muestra 6. De tal manera que los mayores valores de trabajo cohesivo, dependen de las interacciones de máxima concentración de dextrana y mínimo nivel de porcentaje de ácido cítrico, de la mínima concentración de dextrana con la mínima velocidad de agitación.

Las muestras elaboradas con dextrana y 83°Brix, exponen el mayor valor de trabajo cohesivo en la muestra 10. Con lo anterior se afirma que para la Figura 3.19, los valores máximos de trabajo cohesivo, se relacionan con los niveles mínimos de concentración de dextrana y a las interacciones de mínima concentración de dextrana con la máxima velocidad de agitación, a los valores máximos de dextrana con la máxima velocidad de agitación.

De igual forma al comparar los valores de trabajo cohesivo entre las muestras hechas con carragenina, tanto las que tienen 31.3°Brix como las que tienen 83°Brix, con las muestras que contienen dextrana, con igual contenido de 31.3°Brix y 83°Brix respectivamente, todas las muestras con dextrana presentan menores valores de trabajo cohesivo.

3.5 RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS

En los Cuadros 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19, se presentan los valores de algunas propiedades físicas y fisicoquímicas de todas las muestras, tales como: pH, densidad, turbidez y en el caso de las muestras de 31.3°Brix preparadas tanto con carragenina como con dextrana, no presentaron ninguna coloración, por lo que en el Cuadro 3.18 y 3.19, se incluyen los valores en la escala X,Y del espectro colorimétrico MINOLTA para las muestras con un contenido de 83°Brix, elaboradas con carragenina y dextrana, respectivamente.

Cuadro 3.16 Valores de pH de muestras elaboradas con carragenina y dextrana.

Carragenina 31.3°Brix		Carragenina 83°Brix		Dextrana 31.3°Brix		Dextrana 83°Brix	
No. de Muestra	pH	No. de Muestra	pH	No. de Muestra	pH	No. de Muestra	pH
1	2.44	9	2.03	1	2.38	9	2.21
2	2.26	10	2.15	2	2.19	10	2.14
3	2.27	11	2.13	3	2.18	11	2.2
4	2.41	12	2.03	4	2.27	12	2.14
5	2.27	13	2.15	5	2.13	13	2.69
6	2.38	14	2.03	6	2.33	14	2.12
7	2.45	15	2.14	7	2.28	15	2.12
8	2.27	16	2.03	8	2.18	16	2.31

Cuadro 3.17 Valores de densidad de muestras elaboradas con carragenina y dextrana.

Carragenina 31.3°Brix		Carragenina 83°Brix		Dextrana 31.3°Brix		Dextrana 83°Brix	
No. de Muestra	ρ g/cm ³	No. de Muestra	ρ g/cm ³	No. de Muestra	ρ g/cm ³	No. de Muestra	ρ g/cm ³
1	1.1364	9	1.4235	1	1.1362	9	1.4502
2	1.1369	10	1.4676	2	1.1351	10	1.4637
3	1.1384	11	1.4007	3	1.1368	11	1.425
4	1.1347	12	1.4409	4	1.1283	12	1.4139
5	1.1369	13	1.3443	5	1.1365	13	1.3875
6	1.135	14	1.4178	6	1.1346	14	1.4573
7	1.1358	15	1.3551	7	1.1356	15	1.4664
8	1.138	16	1.3664	8	1.1373	16	1.4308

Cuadro 3.18 Valores de turbidez y escala de color de muestras elaboradas con carragenina.

Carragenina 31.3°Brix		Carragenina 83°Brix		Carragenina 83°Brix		
No. de Muestra	Turbidez NTU	No. de Muestra	Turbidez NTU	No. de Muestra	Color	
					X	Y
1	4.36	9	6.77	9	0.3389	0.3343
2	8.83	10	7.54	10	0.346	0.3383
3	7.12	11	17.46	11	0.3591	0.3465
4	6.66	12	12.85	12	0.3644	0.3489
5	5.63	13	8.25	13	0.3496	0.3405
6	3.68	14	21	14	0.3482	0.3407
7	8.71	15	7.68	15	0.3527	0.3401
8	3.96	16	9.24	16	0.3499	0.3406

Cuadro 3.19 Valores de turbidez y escala de color de muestras elaboradas con dextrana.

Dextrana 31.3°Brix		Dextrana 83°Brix		Dextrana 83°Brix		
No. de Muestra	Turbidez NTU	No. de Muestra	Turbidez NTU	No. de Muestra	Color	
					X	Y
1	23.2	9	8.21	9	0.4164	0.4041
2	6.6	10	9.53	10	0.4163	0.4028
3	5.04	11	20.35	11	0.4128	0.4012
4	6.73	12	15.07	12	0.4142	0.4016
5	28.8	13	10.44	13	0.4151	0.4024
6	21.11	14	16.33	14	0.4157	0.4023
7	30.8	15	6.97	15	0.4108	0.4054
8	13.82	16	7.48	16	0.4182	0.4026

3.5.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS.

Con respecto a los valores de pH, las muestras elaboradas con dextrana y 31.3°Brix presentan menores valores si se comparan con las formulaciones que contienen carragenina y 31.3°Brix, además se puede apreciar que a menor concentración de dextrana (0.1%), se obtienen los valores más bajos de pH. Para el caso de las muestras con 83°Brix, los menores valores de pH lo presentan las muestras elaboradas con carragenina.

Los valores de densidad de todas las formulaciones que tienen 31.3°Brix son muy similares, sin embargo, las muestras con carragenina presentan valores ligeramente más

altos si se comparan con los valores de las muestras elaboradas con dextrana. En lo referente a las muestras con 83°Brix, se aprecia que aquellas que contienen dextrana, exhiben mayores valores de densidad, si se comparan con las que contienen carragenina. Los valores de turbidez, para todas las muestras formuladas con dextrana, sin importar el contenido de °Brix, son mayores en comparación con los que presentan las muestras elaboradas con carragenina. Efecto que es más notable entre las muestras que contienen 31.3°Brix, ya que esta diferencia disminuye de manera considerable, al comparar los valores de turbidez para las muestras con 83°Brix, para ambos tipos de hidrocoloideos.

En lo referente a los resultados del color, las muestras que contienen carragenina y 83°Brix, presentan una coloración semejante al anaranjado, equivalente al número 142C, amarillo 21.9, rojo 3.1 y blanco 75; lo anterior en base a las coordenadas X, Y referido a la escala PANTONE; en tanto que las formulaciones de dextrana y 83°Brix, exhiben una coloración ámbar, equivalente al número 144C, amarillo 87.5 y rojo 12.5, de igual manera al compararse con la misma escala de color.

En los Cuadros 3.20 y 3.21, se presentan los resultados del porcentaje de influencia sobre la propiedad fisicoquímica: pH de las muestras elaboradas con carragenina y dextrana, respectivamente; en cuanto a las propiedades físicas, únicamente se incluye en los cuadros anteriormente referidos, el análisis para la densidad y turbidez, debido a que no es posible realizar el análisis de porcentaje de influencia de los factores e interrelaciones sobre el color, puesto que las muestras con 31.3°Brix elaboradas tanto con carragenina como con dextrana, resultaron incoloras y por lo tanto los valores de color eran iguales a cero, cosa que no puede sustituirse en el cálculo, ya que para realizar el análisis, se requiere incluir los resultados de todas las muestras de cada grupo de hidrocoloide, es decir, que todos los análisis sobre la influencia de los factores se realizaron por tipo de hidrocoloide, incluyendo los resultados obtenidos para cada evaluación, tanto de las muestras con 31.3°Brix como las de 83°Brix.

Cuadro 3.20 Resultado del análisis estadístico de las propiedades físicas y fisicoquímicas de muestras elaboradas con carragenina.

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
	pH	ρ g/cm ³	TURBIDEZ NTU
°Brix	79.30	96.75	48.19
Concentración de carragenina	7.4E-03	0.16	1.59
Velocidad de agitación	1.91	0.59	1.63
Concentración de ácido cítrico	13.18	9.51E-02	1.73
°Brix/ Concentración de carragenina	0.11	0.18	2.15E-03
°Brix/ Velocidad de agitación	0.18	0.63	4.76
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	2.69	5.36E-02	0.37
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	1.07	9.34E-02	2.15
°Brix/ Concentración de carragenina / Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	2.35E-28	1.33	0.32
Concentración de carragenina / Velocidad de agitación	0.60	9.39E-02	16.25
Concentración de carragenina / Concentración de ácido cítrico	0.90	1.92E-04	22.92
Error	0.18	2.59E-03	17.98

Cuadro 3.21 Resultado del análisis estadístico de las propiedades físicas y fisicoquímicas de muestras elaboradas con dextrana.

FACTOR/ INTERRELACIÓN	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA	PORCENTAJE DE INFLUENCIA
	pH	ρ g/cm ³	TURBIDEZ NTU
°Brix	2.6E-03	94.75	13.88
Concentración de dextrana	5.31	0.46	13.42
Velocidad de agitación	6.82	0.61	11.00
Concentración de ácido cítrico	46.39	7.34E-02	6.61
°Brix/ Concentración de dextrana	5.31	0.35	26.11
°Brix/ Velocidad de agitación	6.82	0.21	14.08
°Brix/ Concentración de ácido cítrico	0.75	0.93	5.54
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	5.31	0.58	3.22
°Brix/ Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación/ Concentración de ácido cítrico	6.82	0.30	2.57
Concentración de dextrana/ Velocidad de agitación	6.55E-02	0.23	2.87E-03
Concentración de dextrana/ Concentración de ácido cítrico	16.37	1.46	3.51
Error	97.70	23.19	9.44E-02

CONCLUSIONES

En esta investigación se cuantificó estadísticamente el efecto de la formulación y como variable de proceso, la velocidad de agitación, en las propiedades reológicas y texturales de una base de golosina semilíquida.

Los hidrocoloides seleccionados (carragenina y dextrana) fueron elegidos entre otros, por la fácil disolución, pero principalmente por impartir las características de consistencia y claridad deseadas en el producto final, aspectos que se determinaron de manera visual.

El estudio de los diversos factores involucrados y su repercusión sobre las propiedades reológicas y texturales, fue posible, mediante el diseño experimental factorial semicompleto L_{16} , ya que a través del análisis estadístico, se determinó el porcentaje de influencia de cada uno de los factores sobre los resultados obtenidos en las diferentes evaluaciones efectuadas. Para la realización de este trabajo, se establecieron dos planteamientos del diseño experimental anteriormente referido y se analizaron los resultados desde dos puntos de vista, el primero sirvió para especificar de manera general la influencia de los factores y el segundo, la influencia de todos los factores de manera específica sobre cada uno de los hidrocoloides utilizados. Para los casos particulares, en donde se determinó la influencia de los factores sobre cada uno de los hidrocoloides, se obtuvo un factor de error, que hipotéticamente corresponde a la mezcla de los dos hidrocoloides, combinación que nunca se realizó experimentalmente. Este valor en porcentaje, pocas veces superior al 2%, corresponde a algún factor que no se tomó en cuenta y pudiera causar cierto efecto sobre las propiedades del producto de estudio.

A través del análisis estadístico sobre la influencia general de los factores, se obtuvo que para las pruebas en cizalla estacionaria, representadas por la viscosidad absoluta, el factor determinante fue la concentración de °Brix y éste a su vez, resultó ser el de mayor porcentaje de influencia de manera consistente en las demás pruebas realizadas, seguido de acuerdo al orden de importancia, por la interacción de tipo de hidrocoloide con velocidad de agitación y finalmente, concentración de hidrocoloide con concentración de ácido cítrico. De manera particular, para el caso del hidrocoloide espesante (dextrana), el factor °Brix ejerció una influencia predominante y mayor a la que ejerce para las muestras formuladas con carragenina. Además, los valores de viscosidad absoluta para las muestras elaboradas con dextrana, presentaron una menor variación entre sí, al ser

comparadas con las formuladas con carragenina. Los otros factores que tienen influencia sobre la viscosidad absoluta de muestras elaboradas con dextrana son: la interacción de la concentración de dextrana con concentración de ácido cítrico. Para esta evaluación, el error calculado fue despreciable.

En lo referente a la influencia de los de los factores sobre la viscosidad absoluta para las muestras elaboradas con carragenina, se establece que el factor determinante sobre esta propiedad son los °Brix, seguido de la interacción de concentración de carragenina con concentración de ácido cítrico, dicha interacción tuvo mayor influencia que para el caso de la dextrana. En este caso se obtuvo un porcentaje de error de 2.7%.

El análisis estadístico confirmó en las pruebas en cizalla oscilatoria, representadas por la viscosidad dinámica, valores muy similares a los obtenidos en cizalla estacionaria. Lo anterior se justifica por el predominio de la componente viscosa sobre la componente elástica en este tipo de productos.

Para las evaluaciones sobre la textura, específicamente del parámetro dureza, el factor determinante fue la interacción de °Brix con concentración de ácido cítrico. En cuanto a los valores de dureza de las muestras elaboradas con dextrana, el factor determinante fue °Brix, seguido de la concentración de dextrana y por lo tanto de la interacción de ambos. En lo que respecta a los valores de dureza de las muestras formuladas con carragenina, el factor °Brix, fue el de mayor influencia, el cual tiene un efecto mucho mayor si se compara con la influencia que éste ejerce sobre las muestras elaboradas con dextrana. En este caso el factor error tuvo un efecto mayor (5%) y fue mayor aún, que las interacciones correspondientes a la concentración de carragenina con concentración de ácido cítrico, así como la interacción de todos los factores en su conjunto.

Para el parámetro fuerza adhesiva, el factor con mayor influencia en el análisis general, lo representó también °Brix, seguido de sus interacciones con tipo de hidrocoloide con concentración de ácido cítrico. De manera particular, para el caso de la dextrana, el factor que tiene un efecto absoluto sobre la fuerza adhesiva es °Brix. En lo referente a las muestras elaboradas con carragenina, el factor determinante sobre los valores de fuerza adhesiva, fue °Brix, seguido de las interacciones de: concentración de carragenina con concentración de ácido cítrico o velocidad de agitación.

De manera general, para el parámetro de trabajo cohesivo, el factor con el mayor efecto fue °Brix, seguido de sus interacciones con ácido cítrico y tipo de hidrocoloide. En tanto que para las muestras elaboradas con dextrana, el factor que ejerció el efecto determinante fue °Brix, seguido de su interacción con dextrana. Y para el caso de las muestras formulas con carragenina, el factor que ejerció efecto predominante fue °Brix.

En lo que corresponde a las características fisicoquímicas: pH, de manera general la interacción °Brix con tipo de hidrocoloide, representó el factor de mayor influencia, seguido de su interacción con concentración de ácido cítrico y la interacción tipo de hidrocoloide con velocidad de agitación. Para la densidad, nuevamente, el factor con mayor influencia fue la interacción de °Brix con tipo de hidrocoloide, seguida de la interrelación de °Brix con porcentaje de ácido cítrico.

Por otro lado, en las características físicas evaluadas, el valor de turbidez se vio influenciado por diversos factores, los cuales se ordenan por su importancia de la siguiente manera: interacción de °Brix con tipo de hidrocoloide, °Brix con velocidad de agitación, tipo de hidrocoloide con velocidad de agitación, °Brix con concentración de ácido cítrico, °Brix con concentración de hidrocoloide.

Finalmente, los resultados de este trabajo podrían servir de base en el desarrollo de nuevos productos con características de golosina semilíquida en los que se desee controlar una viscosidad o una textura determinada. En el caso de requerir un producto en el que el hidrocoloide tenga que ser menos sensible a las condiciones de proceso o cambios en la formulación, se recomienda el uso de la dextrana, ya que presentó menores variaciones en las propiedades evaluadas, esto por ser una molécula más regular, y por lo tanto más estable, en comparación con la carragenina, que es una molécula más activa y menos estable, lo cual se debe a la presencia de grupos sulfato, lo que provoca mayor dependencia de los factores experimentales manejados.

RECOMENDACIONES

Para ejercer un mayor control sobre las propiedades reológicas, texturales, físicas y fisicoquímicas de la base de golosina semilíquida, se propone la utilización de otras concentraciones de dextrana, sin superar el 1 %, ya que como lo indica la bibliografía, concentraciones mayores a este porcentaje, resultan propiedades tixotrópicas, característica no deseada para este tipo de productos. Además de incrementar la concentración, se propone el uso de una presentación de polvo fino, ya que para la tesis que aquí se sustenta, se dispuso de dextrana en hojuelas, las cuales presentaron mucha dificultad durante su disolución, ya que tienden a captar de manera inmediata el agua y comienzan a formar una masa gelatinosa.

Para determinar el comportamiento de la base de golosina semilíquida elaborada con dextrana, se sugiere la evaluación de las propiedades reológicas, texturales, físicas y fisicoquímicas después de un tiempo de almacenamiento, con la finalidad de analizar la vida de anaquel del producto.

Se recomienda también, utilizar esta base de golosina semilíquida para elaborar productos bajos en calorías, sustituyendo la concentración de azúcar. Desarrollar otros productos, partiendo de la base de este estudio, incluyendo otros ingredientes como por ejemplo: pulpas de frutas, saborizantes, sal, etc., con el objetivo de evaluar la interacción y efecto de la dextrana con otros componentes.

Como parte de un estudio complementario, se recomienda probar otros hidrocoloides como: gelatina, goma arábica, agar, goma de tragacanto, pectina, curdlana y ghatti, ya que se recomienda su uso en productos de confitería; partiendo de las condiciones de proceso y de determinación de las pruebas efectuadas en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA.

Advani, S.G. 1994. "Flow and Rheology in Polymer Manufacturing", Elsevier Applied Science Publishers, New Jersey, U.S.A.

Aguilera, J.M. y Durán, L. 1996. "Glosario de Términos Reológicos para Alimentos en Español y en Portugués", Gráficas Barrastil, Valencia, España.

Aguilera, J.M. y Stanley, D.W.1999. "Microstructural Principles of Food Processing and Engineering", Aspen, Publishers, Inc., New York, U.S.A.

Alonso, M.L., Garzón, E., Melcón, B. y Zapico, J. 1990. Diseño Experimental en Reología de Alimentos Líquidos y Semilíquidos. *Tecnol. Alimen. (Mex)*. 14:53-57.

Anton-Paar. 2004, WWW.anton-paar.com/ap/apintement/html.

Barbosa-Cánovas, G. V. y Ma, L. 1995. Instrumentation for Rheological Characterization of Food. *Food Scie. Technol. Inter.* 1:3-17.

Barbosa-Cánovas, G. V. y Peleg, M. 1993. Flow parameters of Selected Commercial Semi-liquid Food Products. *J. Texture Stud.* 14:213-234.

Barnes, H.A., Hutton, J.F. y Walters, K. 1989. "An Introduction to Rheology", Elsevier Applied Science Publishers, Amsterdam, Holland.

Blackburn, F. 1984. "Sugar Cane", Logman Group Limited, New York, U.S.A.

Belitz, H.D. y Grosch. W. 1999. "Food Chemistry", 2ª Ed., Springer, Berlin, Germany.

Bergenshtahl, S.F. y Stenius, P. "The Influence of Gums on the Stability of Dispersions", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.

Bohlin L., Egelanddal, B., y Martens, M. 1984. "Relationships Between Fundamental Rheological Data and Mouthfeel for a Model Hydro-colloid System, Sensory Analysis of Food", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.

- Bourne, M.C. 1982. "Texture and Viscosity. Concepts and Measurements", Academic Press, Inc., New York, U.S.A.
- Branen, L.A., Davison, M.P. y Salminen, S. 2002. "Food Additives", 2ª Ed., Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A.
- Cakebread, S. 1981. "Sugar and Chocolate Confectionary", AVI, Publishing, Co., New York, U.S.A.
- Cormoan, J., Tsuchiya, H.M. y Stringer, G. 1989. "Enzymic Preparation or High Levulose Food Additives", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.
- Charalambous, G. y Doxastakis G. 1989. "Food Emulsifiers, Chemical Technology, Functional Properties and Applications", Elsevier Applied Science Publishers, Amsterdam, Holland.
- Dahalquist, C.A. y Satas, D. 1989. "Creep. In Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology", Chapman and Hall, New York, U.S.A.
- Darby, R. 1996. "Chemical Engineering Fluid Mechanics", Marcel Dekker Inc, New York, U.S.A.
- Davidson, M.P. 2001. "Food Additives, a User's Guide", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.
- Desrosier, N.W. 1986. "Elements of Food Technology", AVI, Publishing, Co., Massachusetts, U.S.A.
- Dickinson, E. y Walstra, P. 1993. "Food Colloids and Polymers Stability and Mechanical Properties", Royal Society of Chemistry, U.K.
- Doores, S. 1990. "pH Control Agents and Acidulants", Marcel Dekker Inc, Pennsylvania, U.S.A.

- Edwards, W.P. 2002. "The Science of Sugar Confectionery", AVI, Publishing, Co., New York, U.S.A.
- Fauconnier, R. y Bassereau, D., 1980."La Caña de Azúcar", Editorial Blume, Madrid, España.
- Gianola, C. 1986. "La Industria del Chocolate, Bombones, Caramelos y Confitería" 3^{ra} Ed., Paraninfo, Madrid, España.
- Giesekus, H., Hibberd, M.F., Mitchka, P., Riha, R. y Sestak, J. 1988."Progress and Trends in Rheology", Vol. VI, Steinkopff Verlag, Berlin, Germany.
- Glicksman, M. 2000. "Food Hydrocolloids", Vol. III, CRC, Press, Inc., New York, U.S. A.
- Glisksman, M. 1989. "Gum Technology in the Food Industry", Academic Press, Inc, London, G.B.
- Graham, H. 1989. "Food Colloids", The AVI Publishing Company, Inc., New York, U.S.A.
- Hayes, T. 1992. "Food Engineering, Data Hand Book", Logmon Scientific and Technical, London. U.K.
- Henry, W.F. y Katz, M.H. 1969. New Dimensions Relating To The Textural Quality Of Semisolid Foods and Ingredient Systems. Food Technol. 23, 822-826.
- Khan, R. 1993. "Low Calorie Foods and Food Ingredientes", Blackie Academic and Professional, New York, U.S.A.
- Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception and Measurement of Stickiness in Sugar-Rich Foods, Texture Stud. 29:81-100.
- Lewis, R.J. 1989. "Food Additives Handbook", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A.

Mahoney, J. C. 1989. "Comestible and Process for making some Polymers", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.

Marfil, R. C. 1991 Taguchi Methods: A Tool to Improve Quality, Technol. Alimen.(Mex).26:14-33.

Minifie, B. W. 1982. "Chocolate, Cocoa and Confectionery, Science and Technology", 2^a Ed., AVI Publishing Co. Inc., Illinois, U.S.A.

Mitchel, J. R. y Ledward, D. A. 1986. "Functional Properties of Food Macromolecules", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.

Mohensenin, N.N. 1996. "Physical Properties of Plant and Animal Materials. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties". 4th Ed., Gordon and Breach Science Publisher Inc., Ontario, Canada.

Moldenaers, P. y Keunings, R., 1992, "Theoretical and Applied Rheology", Vol. 2, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holland.

Moskowitz, H. R. 1987. "Food Texture Instrumental and Sensory Measurement", Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A.

Nagy, S., Shaw, P. E. y Veldhuis, M.K. 1977. "Citrus Science and Technology, Nutrition, Anatomy, Chemical Composition and Bioregulation", Vol. I, The Avi Publishing Company, Inc., New York, U.S.A.

Neely, J.E. 1992. " Procesos Modernos de Producción", Limusa, México.

Oliveros J.B, Adriano, F.T. y Villanueva, E.R. 1989. "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", Elsevier Applied Science Publishers, New York, U.S.A.

Peace, G.S. 1993. "Taguchi Methods: A Hands-on Approach", Addison-Wesley.Co.Inc, Massachusetts, U.S.A.

Pennington, N.L. y Baker, C.W. 1990. "Sugar a User's Guide to Sucrose", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A.

Philip, P., Ploehn, S. y Ploehn, H. J. 1997. Molecular-level modelig of the Viscoelasticity of Crosslinked Polymers:Effect of Time and Temperature, J. of Rheol. 43: 641-670.

Phillips, G. O., Wedlock, D. J. y Williams, P.A. 1985. "Gums and Stabilizers for the Food Industry", Vol. III, Elsevier Applied Science Publishers, London, G.B.

Piculell, L. 1998. "Gelling Carrageenans", CRC Press, Lund, Sweden.

Pomeranz, Y. 1994. "Functional Properties of Food Components", 2^a Ed., Chapman and Hall, Academic Press, Inc., U.K.

Rao, M.A. 1999. "Rheology of Fluid and Semisolid Foods. Principles and Applications", Aspen Publishers, Inc., Maryland, U.S.A.

Rao, M.A. 1992. "Viscoelastic Properties of Foods", Elsevier Applied Science Publishers, London, G.B.

Rao, M.A. y Rizvi, S.S. 1995. "Engineering Properties of Foods", 2ndEd., Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A.

Rosenthal, A. J. 1999. "Food texture. Measurements and Perception", Aspen Publishers, Inc., New York, U.S.A.

Ross, P. J. 1989. "Taguchi Techniques for Quality Engineering", Mc. Grow Hill Co., New York, U.S.A.

Salunkhe, D. K. y Deshpande, S. S. 1991. "Foods of Plant Origin" Production, Technology and Human Nutrition, Van Nosstrand Reinhold, Ontario, Canada.

Saunders, S. R., Hamann, D. D. y Lineback, D. R. 1992. A Systems Approach to Food Meterial Adhesion. Technol. 25: 309-315.

- Scott, G. W., 1969. "Elementary Rheology", Academic Press, London, G.B.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J. y Rizvi, S. H. 2003. "Ingeniería de Alimentos. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio", Limusa S.A. de C.V., México, D.F.
- Sherman, P. 1988. Rheological Evaluation of the Textural Properties in Progress and Trens in Rheology, VII, Giesekus, H; (eds), Steinkopff Verlag, Berlín, Germany.
- Simeone, M., Sibillo, V., Tassier, M. y Guido, S., 2002. Shear-induced Clustering of Gelling Droplets in Aqueous Biphasic Mixtures on Gelatin and Dextran, The Society of Rheology, J. Rheol. 46, 1263-1278.
- Smith, J. 1993. "Food Additive User's Hand Book", The AVI Publishing Company, Inc., New York, U.S.A.
- Souci, S. W., Fachmann, W. y Kraut, H. 2000. "Food Composition and Nutrition", 6ª Ed., CRC Press, Berlin, Germany.
- Steffe, J.F. 1992. "Rheological Methods in Food Process Engeneering", Freeman Press, Michigan, U.S.A.
- Stephen, A.M. 1995. "Food Polysaccharides and Their Application", Marcel Dekker, New York, U.S.A.
- Steven, N., Philip, E. S. y Matthew, K.V. 1977. "Citrus Science and Technology", Nutrition, Anatomy, Chemical Composition and Bioregulation, Vol. I, The Avi Publishing Company Inc., New York, U.S.A.
- Tanner, R. 2000. "Engineering Rheology", 2ª Ed., Oxford University Press, London, G.B.
- Ulrich, G. 1986. "Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics", Editorial Interamericana, México, D.F.

ANEXOS

ANEXO I. Cuadro de Aplicaciones de Algunos Hidrocoloides

Aplicaciones de los hidrocoloides más comunes utilizados en la industria alimentaria
(Barbosa-Cánovas y Peleg, 1993; Blanshard, Mitchell, 1979; Charalambous, 1989;
Glicksman, 1969, 2000; Graham, 1989; Pomeranz, 1991; Smith, 1991; Stephen, 1995).

HIDROCOLOIDE	FUNCIÓN	APLICACIÓN	CONCENTRACIÓN %
Goma Guar	Estabilizante	Helados	0.2-0.3
	Espesante	Queso Cottage	0.3-0.6
	Retensor de agua	Queso procesado	0.2-0.4
	Espesante	Mezclas para pasteles	0.1-0.2
	Retensor de humedad	Panificación	0.1-0.3
	Control de viscosidad y uniformidad de cocimiento	Mezclas secas para pasteles	0.1-0.2
	Reduce la absorción de aceite	Donas	0.1-0.3
	Incrementa viscosidad y texturizante	Aderezos y salsas	0.2-0.8
	Aumenta la vida de anaquel	Panificación	
	Evita sinéresis	Glaseados Cárnicos	
Gelatina	Gelificante	Yoghurt	0.3-1-0
	Gelificante	Postres gelificados	4-6
	Gelificante	Confitería	3-10
	Gelificante	Cárnicos	1-5
	Estabilizante	Mousses	1-3
	Estabilizante	Minarinas	1-3
Goma Arábica	Encapsulante	Fijador de sabor	80-90
	Estabilizante	Confitería	10-60
	Espesante y emulsificante	Emulsiones saborizadas	10-30
	Emulsificante	Panificación	
		Bebidas, Salsas, Lácteos	
	Estabilizante de espumas	Cerveza, Vinos, bebidas	
	Retensor de humedad	Glasés	0.5-1.0
	Texturizante	Merengues	0.4-1.2
	Adhesivo	Galletas	5.0-15
	Ligante de agua	Donas congeladas	0.1-0.3
Estabilizante, ligante de agua	Rellenos para pays	0.2-0.6	
Agar	Gelatinizante	Glasés	0.1-0.3
	Gelificante	Confitería	0.3-1.8
	Gelificante	Cárnicos	0.5-2.0
	Gelificante	Lácteos	0.05-0.9
	Gelificante	Jaleas para panificación	0.6-1.2
	Espesante	Lácteos, Confitería, Cárnicos, Enlatados	
	Reductor de adhesividad	Glasés	0.7-1.2
	Texturizante	Merengues	0.4-0.8
	Ligante de agua y estabilizante	Rellenos para pays	0.2-0.6
		Bebidas Cereales	0.05-0.15

Pectina	Gelificante y espesante	Mermeladas, conservas,	0.1-1.0
	Gelificante y espesante	jaleas	0.5-1.5
	Gelificante y espesante	Rellenos para pastelería,	0.5-2.5
	Espesante y estabilizante	glaseados	0.1-1.0
	Espesante y estabilizante	Confitería	0.01-1.0
Goma de Algarrobo	Estabilizante	Preparaciones de frutas	0.1-1.0
	Espesante y control de humedad	Bebidas de frutas y salsas Lácteos	
	Gelificante, retensor de agua	Helados	0.2-0.3
	Retensor de humedad	Queso crema	0.3-0.6
	Control de viscosidad y uniformidad en el cocimiento	Postres gelificados	0.3-0.6
	Reduce la absorción de aceite	Panificación	0.1-0.3
	Ligante de agua y estabilizante	Mezclas secas para pasteles	0.1-0.175
	Ligante de agua y controla los cristales de hielo	Donas	0.1-0.25
	Ligante	Rellenos para pays	0.1-0.2
		Pastas, masas congeladas y Postres congelados	0.2-0.3
		Embutidos	
Goma Xantana	Estabilizante	Aderezos	0.2-0.3
	Gelificante y espesante	Jaleas para panificación	0.1-0.3
	Suspensor de pulpa	Bebidas de frutas	0.02-0.06
	Gelificante	Queso crema, panificación	0.1-0.2
	Retensor de humedad	Productos horneados	0.1-0.2
	Espesante	Helados, Bebidas, Lácteos	
	Retensor de humedad y desarrollo de masa	Pastelería	0.1-0.25
	Control de viscosidad y uniformidad de cocción	Mezclas secas para pasteles	0.1-0.15
	Ligante de agua y estabilizante	Rellenos para pays	0.15-0.3
	Goma de Tragacanto	Estabilizante, Espesante	Lácteos, Aderezos, Salsas
Emulsificante		Confitería	0.2-0.5
Emulsificante		Helados	0.15-0.45
Estabilizante		Helados	0.2
Texturizante		Helados	0.35
Estabilizante de viscosidad		Paletas de hielo	0.5
Evita migración de jarabe		Nieves	0.5
Estabilizante		Emulsiones de panadería, rellenos de fruta y merengues	
		fríos	
		Purés de frutas	
Texturizante		Leche	
Preservativo		Frutos	0.2-1.0
Suspensor		Frambuesas congeladas	
Preservante de color y sabor			0.3-4.0

Alginatos	Estabilizante	Helados	0.1-0.5
	Gelificante	Glasés	0.1-0.5
	Gelificante	Betunes	0.3-0.5
	Estabilizante	Aderezos para ensaladas	0.2-0.5
	Estabilizante	Cerveza	0.004-0.008
	Estabilizante	Bebidas de frutas	0.1-0.3
	Gelificante	Alimentos reestructurados	0.6-1.0
		Frutas simuladas	
	Gelificante	Helados, pudines instantáneos, bebidas	0.8-1.0
		Rellenos para pays	
	Ligante de agua y estabilizante	Jaleas para panificación	0.3-0.5
	Estabilizante		0.1-0.2
Curdiana	Gelificante	Jaleas, glasés, nieves, natillas, mezclas de postres en polvo	0.5-5.0
	Estabilizante y emulsificante	Alimentos de bajas calorías (aderezos, crema de cacahuete y postres)	0.5
	Formador de películas y fibras	Películas y fibras comestibles	1.5
	Retensor de agua	Salsas, jamón, gelatinas y jaleas	1.5-6.0
	Incrementa viscoelasticidad y ligante	Spaghetti, fideos, hamburguesas y jaleas	0.3
	Texturizante, espesante y estabilizante	Aderezos para ensaladas y productos untables	1.5
	Desodorante	Arroz cocido	0.4
Carboximetilcelulosa	Estabilizante	Helados	0.1-0.3
	Espesante	Frituras	0.1-0.4
	Estabilizante	Leche agria	0.1-0.2
	Espesante	Almíbar	0.2-0.6
	Retensor de agua	Mezclas para pasteles	0.2-0.4
	Espesante y ligador de agua	Glasés	0.1-0.2
	Espesante y estabilizante	Pastas	0.2-0.4
	Espesante	Bebidas en polvo	0.1-0.3
		Cárnicos	
		Mezclas secas para pasteles	0.1-0.3
	Control de viscosidad y uniformidad de cocción	Donas	0.1-0.25
	Reduce absorción de aceite	Glasés	0.1-0.5
	Controla cristales de azúcar	Merengues	0.1-0.5
Texturizante	Pastas y masas congeladas	0.2-0.4	
Controla cristales de hielo			
Ghatti	Adhesivo	Jarabes	2
	Emulsificante		
	Estabilizante	Películas solubles y brillantes	

Carragenina	Estabilizante	Helados, bebidas de chocolate.	0.01-0.03 0.3-0.6
	Espesante	Aderezos para ensaladas	0.1-0.2
	Espesante, gelificante	Crema análoga líquida	0.8-1.2
	Gelificante	Jaleas bajas en calorías	0.6-1.1
	Gelificante	Postres gelificados	0.8-1.0
	Gelificante	Glaseado para tartas	1.5-3.0
	Gelificante, vinculante de agua	Pasta de pimiento	0.3-0.5
	Gelificante, espesante	Glaseado para cárnicos	0.1-0.5
	Inhibidor de la formación de cristales de hielo	Flanes, Pudines instantáneos Lácteos Quesos análogos	
	Emulsificante Estabilizante y emulsificante	Helados, nieves y postres congelados. Quesos y cremas análogas Helados, quesos, pudines instantáneos, leches saborizadas, sustitutos de crema para café, betunes batidos.	
Gelificante	Raspados, nieves, postres gelificados y en polvo, salsas, relishes, cárnicos, alimento enlatado para mascotas. Merengues Rellenos para pays	0.1-0.2 0.2-0.4 0.05-0.15	
Texturizante Ligante de agua y estabilizante Ligante de agua	Pastas y masas congeladas		
Gelana	Liberador de sabor Texturizante	Aspics	0.1-0.35
		Glasés	
		Panificación	
		Jaleas bajas en calorías	
		Confitería, jaleas y mermeladas	
Furcellarana	Espesante Texturizante	Alimentos procesados, geles a base de agua, rellenos para pays, pudines, raspados, helados, yoghurt, malteadas, geles lácteos y comida para mascotas.	0.15 0.4 0.04-0.05 0.4
		Jaleas dietéticas, salsas y flanes	0.2-0.5
		Geles, postres y pudines lácteos	0.4-0.5
		Bebidas	0.05-0.1

Dextrana	Ablandador, estabilizante y aumenta el volumen Maleabilidad Previene cristalización, mantiene sabor, apariencia y palatabilidad Sustituto de malta, estabilizante de espuma Estabilizante	Harina de donas Conos para helados Dulces, fondants, jaleas, conservas, jarabes	0.01-10
	Previene la cristalización de azúcar, estabilidad y viscosidad Aumenta volumen	Cerveza	10-20
	Cubiertas de preservación Cubiertas antibióticas	Bebidas de chocolate, bebidas suaves, extractos de sabores Jarabes	
	Acondicionador Estabilizante Sustituto de gomas Espesante, estabilizante, retensor de agua, humectante	Bebidas bajas en calorías y libres de azúcar Camarones frescos Alimentos preparados, congelados, pescados, espinacas, pollo Chicles Congeladas, cremas sintéticas, aderezos para ensaladas Confitería, Panificación, bebidas,	0.5-30
Goma de Tamarindo	Estabilizante	Helados, nieves	0.1-0.2
		Mayonesa, aderezos para ensaladas	0.1-0.2
	Espesante	Salsas, gravy	0.2-0.3
		Catsup	0.1-0.2
		Enlatados	0.1-0.3
		Jugos de frutas	0.1-0.3
		Mezclas para pastel	0.1-0.3
		Sopa en polvo	0.1-0.5
		Jalea, mermelada	0.1-0.5
		Fideos	0.1-0.5
Gelificante Texturizante Inhibidor de sinéresis Espesante, inhibidor de sinéresis	Pasta de harina	0.1-0.3	
	Pepinillos	0.1-0.5	
Karaya	Adhesivo	Pastas tipo gel Polvos, geles	4
	Previene sinéresis Retardante de cristales Estabilizante		0.2-0.5
	Ligador	Aderezos franceses, merengues Salsas, carne molida Quesos untables	
	Reduce absorción de aceite	Donas	0.1

ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE LAS GEOMETRÍAS

A) Geometría de cilindros concéntricos. Dependiendo de cual de los cilindros es que el que gira (interior o exterior), la geometría de cilindros concéntricos se refiere al tipo de Couette o Searle, para nuestro caso particular se trata de un tipo Searle, en donde el cilindro interior gira en sentido contrario a las manecillas del reloj. El fluido es cizallado en la separación entre ambos cilindros; el torque necesario para mantener la posición del cilindro fijo, es una medida del esfuerzo de deformación, la velocidad rotacional del movimiento del cilindro interior es la medida de la velocidad de cizalla:

$$\tau = \frac{T}{2\pi L R_i^2} \quad \gamma(R_i) = \gamma(R_o) = \frac{2\Omega}{1 - K^2}$$

Utilizando las siguientes consideraciones:

- 1.- Flujo: Laminar estacionario e isotérmico
- 2.- Efecto de gravedad y final= isotérmico

Viscosidad newtoniana:
$$\eta = \frac{T}{4\pi L \Omega} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$

L= longitud del cilindro interno

R_i= radio del cilindro interno

R_o= Radio del cilindro externo

T= Torque

K= R_i/ R_o

Si la separación entre cilindros es muy pequeña en comparación con el radio del cilindro interno, existe una pequeña variación en la velocidad de cizalla a lo largo de la separación entre cilindros y se puede aproximar por:

$$\gamma = \frac{\Omega R_i}{R_o - R_i}$$

Los mayores errores son lo efectos finales (cambios en los patrones de flujo, que pueden deberse a la geometría, accesorios en las tuberías industriales y a las características del material) y flujos turbulentos en la región final Steffe, 1992; Darby, 1996).

B) Geometría de placas paralelas. Esta geometría consta de dos discos y el alimento a evaluar, se coloca entre ambos discos.

Una placa es estacionaria (la inferior); mientras que la otra rota u oscila (dependiendo de la prueba a realizar).

Ventajas: Distancia entre placas flexible, lo que permite realizar mediciones en un amplio rango y tiene más aplicaciones.

Se pueden evaluar tanto viscosidad (modo rotatorio) como viscoelasticidad (modo oscilatorio), provee flexibilidad para materiales y suspensiones, la separación entre placas provee una simple determinación para extender el rango de velocidad de deformación y evaluar deslizamiento del material (Shoemaker, 1987).

Desventajas: La distribución del esfuerzo de deformación en el material no es uniforme.

Limitación: La velocidad de deformación debe ser por debajo de 500s^{-1} (Connelly y Greener, 1985).

Errores asociados con fractura de superficie, migración radial y bajo súbito en las paredes. Para realizar pruebas dinámicas u oscilatorias, la placa superior oscila de manera sinusoidal con la frecuencia (ω) y la amplitud angular ($\gamma_0 \ll 1$); mientras que determina la dependencia del torque (τ) con respecto al tiempo

$$\Rightarrow \quad \eta' = \frac{2HT_0 \sin(\delta)}{\pi R^4 \omega \gamma_0} \quad \eta'' = \frac{2HT_0 \cos(\delta)}{\pi R^4 \omega \gamma_0}$$

R= Radio de la placa

H= Separación entre placas

T = Torque requerido para que oscile la placa superior

T_0 = Torque determinado

γ_0 = Amplitud angular determinada

δ = Ángulo de fase, que es medido en el cambio de fase ($0 \leq \delta \leq \pi/2$)

ANEXO III. Ejemplo de Aplicación del Análisis Estadístico

FACTOR COLUMNA	A	B	C	E	8	RESULT				
	°Brix	Hidrocoloide	[]	Vel. Agit.	pH	15 Dureza				
Exp						N				
1	1	1	1	1	1	1	7.34E-02			
2	1	1	1	1	2	2	6.07E-02			
3	1	1	1	2	1	2	9.63E-02			
4	1	1	1	2	2	1	5.26E-02			
5	1	2	2	1	1	2	1.25E-01			
6	1	2	2	1	2	1	1.72E-01			
7	1	2	2	2	1	1	1.02E-01			
8	1	2	2	2	2	2	7.07E-02			
9	2	1	1	1	1	2	4.54E-01			
10	2	1	1	1	2	1	4.57E-01			
11	2	1	1	2	1	1	3.58E-01			
12	2	1	1	2	2	2	4.04E-01			
13	2	2	2	1	1	1	5.45E-01			
14	2	2	2	1	2	2	3.89E-01			
15	2	2	2	2	1	2	5.70E-01			
16	2	2	2	2	2	1	7.45E-01			
T=							4.6747			
N=							16			
Tmed= T/N							0.29216875			
ANOVA	A1	A2	SSA				(Am1-Tm)^2	(Am2-Tm)^2	SSy2	
SSA= (A1- A2)^2/ N	0.7527	3.922	0.627778906	SSy2=(Am1-Tm)^2+(Am2-Tm)^2/N-1			0.060086266	0.002213114	0.004153292	
Am1	0.04704375									
Am2	0.245125									
F1	151.1521235									
F2	4.6									
P%	6.76072883									
SSB=(B1-B2)^2/N	1.956	2.7187	0.036356956				0.028872382	0.014945063	0.002921163	
Bm1	0.12225									
Bm2	0.16991875									
F1	12.44605535									
F2	4.6									
P%	0.391538352									
SSC	2.2761	2.3986	0.000937891				0.022473758	0.020236841	0.002847373	
Cm1	0.14225625									
Cm2	0.1499125									
F1	0.329388019									
F2	4.6									
P%	0.01010041									

SSE		2.3237	2.351	4.65806E-05		0.021590629	0.021092116	0.002845516	
Em1	0.14523125								
Em2	0.1469375								
F1	0.016369832								
F2	4.6								
P%	0.00050164								
SS15		2.505	2.1697	0.007026631		0.018389055	0.024511816	0.002860058	
15m1	0.1565625								
15m2	0.13560625								
F1	2.456813949								
F2	4.6								
P %	0.075671775								
INTERACCIONES									
AXB=3		1.962	2.1427	0.002040781		0.028745083	0.025043063	0.003585876	
3m1	0.122625								
3m2	0.13391875								
F1	0.56911628								
F2	4.2								
P%	0.021977745								
AXC=5		2.5081	2.1666	0.007288891		0.018336545	0.024572522	0.002860604	
5m1	0.15675625								
5m2	0.1354125								
F1	2.548024621								
F2	4.2								
P%	0.078496127								
AXE=9		2.3917	2.283	0.000738481		0.020359723	0.022344644	0.002846958	
9m1	0.14948125								
9m2	0.1426875								
F1	0.259392896								
F2	4.2								
P%	0.007952907								
AX15=14		2.217	13.93	8.574648063		0.02359488	0.334611633	0.023880434	
14m1	0.1385625								
14m2	0.870625								
F1	359.0658355								
F2	4.2								
P%	92.34281343								
AXBXE=11		2.3884	2.2863	0.000651526		0.020418624	0.022283026	0.002846777	
11m1	0.149275								
11m2	0.14289375								
F1	0.22886433								
F2	4.07								
P%	0.007016464								

AXBEX15=4		2.2761	2.3986	0.000937891		0.022473758	0.020236841	0.002847373
4m1	0.14225625							
4m2	0.1499125							
F1	0.329388019							
F2	4.016							
P%	0.01010041							
BXE=10		2.3584	2.2637	0.000560506		0.020957991	0.022706723	0.002910981
10m1	0.1474							
10m2	0.14148125							
F1	0.192548712							
F2	4.2							
P%	0.006036244							
BX15=13		2.0957	2.579	0.014598681		0.02598141	0.017156088	0.002875833
13m1	0.13098125							
13m2	0.1611875							
F1	5.076330791							
F2	4.2							
P%	0.157217326							
CXE=12		2.4897	2.205	0.004379131		0.018992285	0.023825852	0.002854542
12m1	0.15435625							
12m2	0.1378125							
F1	1.53409195							
F2	4.2							
P%	0.047160098							
CX15=11		2.3884	2.2863	0.000651526		0.020418624	0.022283026	0.002846777
11m1	0.149275							
11m2	0.14289375							
F1	0.22886433							
F2	4.2							
P%	0.007016464							
AXCXEX15		2.505	2.1697	0.007026631		0.018389055	0.024511816	0.002860058
2m1	0.1565625							
2m2	0.13560625							
F1	2.456813949							
F2	4.016							
P%	0.075671775							
SST=SSS				V=SS/v	G.L.	vT=N-1	16-1	15
SSm=	T^2/N			9.285669067	0.619044604	vA=kA-1	2-Jan	1
Sse=	SST-SSm			2003.6433	2003.6433	vm=1		1
F2=tabia 95%	0.05 v nom=k-1			285.00671	20.35762214	vE=vT-vA	15-1	14
P %	SSA/SST*100			1-Jan v denom.=res	(A1-1)+(A1-1)	(8-1)+(8-1)	7+7=14	