



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**APLICACIÓN DE FÉCULA DE MAÍZ  
PARA EL TRATAMIENTO DE  
DISFAGIA. UN ESTUDIO SENSORIAL  
Y REOLÓGICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**GERARDO RAFAEL SOTO MALDONADO**



México, D.F. 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesora Dulce María Gómez Andrade

**VOCAL:** Profesor Alberto Tecante Coronel

**SECRETARIO:** Profesora María Soledad Córdova Aguilar

**1er. SUPLENTE:** Profesor Jorge Arturo Aburto Anell

**2° SUPLENTE:** Profesora Patricia Severiano Pérez

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PROCESOS CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CCADET) Y LABORATORIO DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA FACULTAD DE QUÍMICA ANEXO DEL LABORATORIO 4-D

**Asesor Del Tema:** Dra. María Soledad Córdova Aguilar

**Supervisor Técnico:** Dra. Patricia Severiano Pérez

**Sustentante:** Gerardo Rafael Soto Maldonado

*"Cuando me dejo llevar por lo que soy, me convierto en lo que podría ser".*  
Lao Tzu

*"Profundo es tu anhelo por la tierra de tus recuerdos, donde habitan tus más grandes deseos...Pero te suplicamos; antes de que nos dejes, que nos hables, entrégnanos tu verdad... Cuando el amor te llama, síguelo, cuando te hable cree en él... Muchas veces nuestro pensamiento muere a causa de las palabras. Porque el pensamiento es como un pájaro, que dentro de una jaula podría desplegar sus alas, pero no volar... Cuida tu juicio y tu apetito como si fueran huéspedes amados de tu hogar, es necesario que la pasión se encauce por medio de la razón, para que pueda perpetuar su diaria resurrección..."*

*Khalil Gibrán-El Profeta*

*"No estudio por saber más, sino por ignorar menos."*  
Juana de Asbaje

## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo a todas las personas que me han ayudado a ser un mejor profesionalista y una mejor persona (compañeros, amigos y maestros que con su esfuerzo y dedicación son un ejemplo a seguir). Pero sobre todo a Eco, Mamá, Papá y abuelita, pues sin su invaluable apoyo, no hubiera llegado a este punto.*

# Agradecimientos

## **Familia**

*Primero, quiero agradecer a mi papá: Héctor Soto, porque eres mi más grande ejemplo de superación tanto personal como profesional, por enseñarme a hacer lo que me apasiona y apoyarme siempre, pero sobre todo por tu generosidad.*

*A mi mamá: María Elena Maldonado, por todo tu cariño y amor, por siempre entregarte a tu familia, por tus lecciones de vida y aquellas que vamos aprendiendo, por demostrarme que vale la pena luchar por lo que quieres y nunca rendirte.*

*Al Eco, por ser la persona que eres, porque hemos estado juntos en nuestros momentos clave y por todo tu cariño y mi admiración por tu inteligencia y ocurrencias.*

*A mi abuelita Berthita, por ayudarme a cumplir este sueño, por ser un ejemplo de vida, fortaleza y tenacidad. También por ser mi compañía estos años y por compartir tu experiencias y cariño.*

*A mi tía Ma. Elena, por ser una extraordinaria persona, Por tu generosidad y bondad con tus seres queridos.*

## **Universidad**

*Agradezco a la Facultad de Química por no sólo ser el centro de formación profesional más importante del país, sino también por brindar incondicionalmente conocimiento, equipo y excelencia.*

*A mis profesores, por su esfuerzo, dedicación y disponibilidad, por compartir su experiencia y dar lo mejor de sí. Especialmente a la Dra. Carmen Giral, Dra. Vanesa Maya, Dr. Héctor GO, maestros: Alejandro Díaz, Héctor J. Ríos, Sandra Teresita, Iván Méndez, Adriana Aguilar, Emely Baché, Vero Hdez, Esme Paz, Aleida y Q.F.B: Marco Félix y Ma. Elena Cañizo; porque recordaré con una sonrisa sus clases.*

*Al profesor Juan Manuel Díaz, por no sólo ser un gran profesor, sino por sus consejos y apoyo a lo largo de casi toda la carrera, por su compromiso con los alumnos y por ser un amigo para mí.*

*A la profesora Sandra Pérez, por ser mi primera tutora y última profesora, por las pláticas dinámicas y disponibilidad, porque resolver cada duda solicitada sin objeción.*

*Al profesor Rodolfo Fonseca, por su calidad como profesionista y emprendedor, por compartir su conocimiento, visión y experiencias sin reproche y por su accesibilidad y consejos.*

## **Tesis**

*Agradezco a la Dra. Marisol Córdova, por su dirección y enseñanza a lo largo del trabajo, por su profesionalismo, por compartir sus experiencias y aterrizar mis ideas, por confiar en mí. Por su gran calidad humana y por su interés en la aplicación social de su trabajo.*

*A la Dra. Paty Severiano Pérez, porque este trabajo no podría haberse realizado sin su colaboración. Por su dinamismo, asesoría, paciencia y disponibilidad. Por compartir su tiempo y abrir espacios para este trabajo. Por su apoyo cordial y entusiasmo y su gran calidad humana.*

*Al Dr. Gabriel Ascanio Gasca, por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo y por abrirme las puertas para colaborar en el Laboratorio.*

*A la Dra. Inés Reyes, Dr. Miguel Ángel Bazán y al Lic., Ulises Solís (jeje) por su guía e instrucción en el laboratorio 313.*

*A Jaime A. García Torres y Verónica González Flores, por su apoyo y guía sensorial por aceptarme en su territorio y su amena colaboración. Al equipo de soporte del lab: (señora Marce, Yaz, Dany, Norma, Tere...) y al panel de jueces por su amigable participación.*

*A mis sinodales: Dr. Alberto Tecante y QFB Dulce Gómez, por sus consejos, comentarios y aportaciones que enriquecieron este trabajo.*

### **Amigos**

*Quiero agradecer a mis amigos, por tantos momentos compartidos y buenos recuerdos, anécdotas que siempre vale la pena contar y tanta risa.*

*Mis amigos más morelianos que el gazpacho: Karla Tejeda, Guimbel Rosas, David Vallejo, Katya Valencia. Laura López, Diana Vázquez, Carlitos Robledo, Christian López, Paco Orozco y Dulce Pérez.*

*A mis amigos de primer semestre: Karen Arias (Karnitas), Mónica Cervantes (Monik kon k...), Oscar Carrillo, Diana Contreras, Regina Estrada, Selene Molina, Ulises Damián Solache, Paz Sánchez (Pacificación, desde 3ero) y Mario Díaz (también).*

*A los QAs, porque la carrera fue aún mejor a su lado: Nancy Arizmendi (QA, 2015), Mariel Barjau, Maricarmen Castañeda (Eq. 34), Oscar Carrillo (again), Erika Cruz (Erikation de la Cruz), Andrea Falcón (Falconfunch. S.C.), Alfonso Florián (Poncho), David Martínez, Sofía Monroy (Sofistication), y Andrea Valadez.*

*A la gente de Mdlz y los momentos "joy" de la estancia: a Roger Tapia (más que un primer jefe, un amigo), Tere Valderrama, Tere López, el Jefe Julio Morales, Nora Maya, Karla Salas, Diego López, Diana Baldwin, Eréndira Pitalua, Lis Gasca, Isaac Miranda y el equipo de G&C.*

*A mis amigos del CCADET, por los momentos que pasamos, las publicaciones, ideas y comidas, al subjefe Isaac López, Jorge Bautista (el preferido), Brenda Prado, Ulises Solís, Vero Rodríguez (trabaje en paz), Aideé Bermúdez y Miguel A. Ramírez B.*

***Finalmente a la vida, por darme tantas satisfacciones, permitirme conocer tantas personas, descubrir y hacer lo que me gusta y disfrutar este viaje.  
¡MIL GRACIAS!***

# ÍNDICE

Abreviaturas .....	i
Índice de Figuras .....	ii
Índice de Tablas.....	iv
Resumen .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
JUSTIFICACIÓN .....	9
OBJETIVOS .....	11
Objetivo General .....	11
Objetivos Particulares .....	11
HIPÓTESIS.....	12
1 MARCO TEÓRICO.....	14
1.1 Almidón .....	14
1.1.1 Amilosa.....	15
1.1.2 Amilopectina .....	15
1.1.3 Modelo «cluster» .....	16
1.1.4. Birrefringencia.....	17
1.1.5 Gelatinización del almidón.....	18
1.1.6 Retrogradación del almidón.....	19
1.1.7 Aplicación de almidón en alimentos .....	19
1.2 Fécula o Almidón de maíz .....	20
1.2.1 Granos de maíz.....	20
1.2.2 Molienda húmeda de granos de maíz.....	21
1.2.3 Fécula de maíz.....	23
1.2.4 Fécula de maíz para preparar atole fortificado.....	24
1.3 Disfagia .....	25
1.3.1 Principales Causas de Disfagia.....	28
1.3.2 Complicaciones de la disfagia.....	28
1.3.3 Diagnóstico de la disfagia orofaríngea .....	29



1.3.4 Estrategias en el manejo de disfagia.....	32
1.3.5 Dieta y modificación de alimentos para pacientes con disfagia.....	35
1.4 Evaluación Sensorial.....	39
1.4.1. Objetivos y alcances de la evaluación sensorial.....	39
1.4.2 Atributos.....	40
1.4.3 Análisis Descriptivo .....	42
1.4.4 Perfil flash.....	43
1.4.5 Pruebas afectivas .....	44
1.4.6 Escala hedónica.....	45
1.5 Reología.....	47
1.5.1 Objetivos y aplicaciones de la reología .....	47
1.5.2 Flujo, esfuerzo y viscosidad.....	48
1.5.3 Esfuerzo de cizalla y velocidad de deformación.....	49
1.5.4 Viscosidad.....	51
1.5.5 Tipos de comportamiento de los fluidos.....	52
1.5.6 Fluidos reofluidizantes y reoespesantes .....	54
1.5.7 Fluidos tixotrópicos y antitixotrópicos.....	55
1.5.8 Ley de Potencia .....	56
1.5.9 Reología Extensional .....	57
1.5.10 Reometría.....	59
2. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	63
2.1 Materiales .....	63
2.2 Equipo.....	64
2.3 Metodología .....	64
2.3.1 Estrategia.....	64
2.3.2 Desarrollo Experimental.....	65
2.3.3 Caracterización Reológica de Corte y Dinámica.....	65
2.3.4 Caracterización Reológica Extensional.....	67
2.3.5 Perfil Flash .....	70
2.3.6 Nivel de agrado .....	72
3. RESULTADOS .....	75
3.1 Estudios preliminares de caracterización reológica de corte .....	75

3.2 Selección de matrices y concentraciones de fécula de maíz .....	79
3.2.1 Reología de corte para matrices tipo lácteas.....	79
3.2.2 Reología de corte para matrices tipo agua .....	84
3.2.3 Concentraciones de fécula de maíz y azúcar seleccionadas para el Perfil flash .....	87
3.3 Perfil flash de matrices seleccionadas.....	88
3.3.1 Perfil flash para matriz base leche deslactosada .....	88
3.3.2 Perfil flash para matriz base bebida de soya.....	91
3.3.3 Perfil flash para matriz base leche light .....	95
3.3.4 Perfil flash para matriz base bebida de jugo de manzana .....	99
3.3.5 Resumen general de resultados perfil flash.....	103
3.4 Nivel de agrado de matrices seleccionadas .....	104
3.4.1. Hábitos de consumo de los consumidores.....	104
3.4.2 Resultados evaluación Nivel de agrado .....	107
3.4.3 Resumen general de resultados.....	113
3.5 Caracterización reológica de productos seleccionados .....	115
3.5.1 Reología de corte .....	115
3.5.2 Ensayos viscoelásticos dinámicos para matrices seleccionadas .....	116
3.5.3 Reología extensional para matrices seleccionadas.....	123
3.5.4 Resumen de resultados caracterización reológica completa.....	131
CONCLUSIONES .....	132
RECOMENDACIONES .....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS .....	144
Anexo 1. Preparación del producto espesado .....	144
Anexo 2. Análisis estadísticos de ley de Potencia para selección de matrices y concentraciones. .	145
Anexo 3. Cuestionario de Nivel de Agrado aplicado a los consumidores .....	153
Anexo 4. Análisis estadísticos de pruebas afectivas .....	155
Anexo 5. Análisis estadístico de la prueba de corte.....	167
Anexo 6. Hoja de cálculo para velocidad de elongación y viscosidad extensional .....	168
Anexo 7. Análisis estadístico de las prueba extensionales .....	169

## Abreviaturas

°C	grado Celsius	TTA	Estimulación termo táctil
μm	micrómetro	VFC	Videofluoroscopia
ACP	Análisis de Componentes Principales	γ	velocidad de deformación
ACVA	Accidente Cerebrovascular Agudo	%γ	Porcentaje de deformación
ADA	Asociación Dietética Americana	ε	velocidad de flujo extensional
ANOVA	Análisis de varianza	η	viscosidad aparente
APG	Análisis de Procrustes Generalizado	η <sub>ε</sub>	viscosidad extensional
av	altas velocidades de elongación	μ	viscosidad
Az	Azúcar (sacarosa)	v	viscosidad cinemática
BJ	Bebida de jugo de manzana	σ	esfuerzo
BS	Bebida de soya		
bv	bajas velocidades de elongación		
Conc	Concentración		
cP	centiPoise		
DMSH	Diferencia Mínima Significativa Honest		
ECA	Ensayo clínico aleatorio		
FM	Fécula de maíz		
G'	módulo de almacenamiento		
G''	módulo de pérdida		
G*	Módulo complejo		
IFT	Institute of Food Technology		
k	coeficiente de consistencia		
LD	Leche deslactosada		
LL	Leche light		
MECV-V	Método de exploración clínica volumen viscosidad		
mL	mililitros		
n	índice de comportamiento de flujo		
NDD	Dieta Nacional de Disfagia		
Pa	Pascal		
PEG	Gastrostomía endoscópica percutánea		
PF	Perfil Flash		
ROM	ejercicios de rango de movimiento		
RPM	revoluciones por minuto		
s <sup>-1</sup>	velocidad de deformación		
SNC	Sistema Nervioso Central		
t	tiempo		
text	producto texturizado		

## Índice de Figuras

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ALMIDÓN [BETANCOUR ET AL., 2008].	14
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DEL ENLACE A-1-4 GLUCOSÍDICO DE LA AMILOSA [THANH HA, 2013].	15
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOPECTINA [DE MIRANDA ET AL., 2007]	16
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN GRÁNULO DE ALMIDÓN NATIVO. [VAN DER SMAN & MEINDERS, 2010].	17
FIGURA 5. MICROSCOPÍA DE LUZ POLARIZADA DE ALMIDONES NATIVOS: A, PAPA; B, MAÍZ; C, ARROZ.	18
FIGURA 6. CORTE TRANSVERSAL DE UN GRANO DE MAÍZ.	21
FIGURA 7. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA MOLIENDA HÚMEDA DE GRANOS DE MAÍZ [TOVAR, 2008].	22
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS FASES DE LA DEGLUCIÓN [BARROSO ET AL., 2012].	27
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS FASES DE LA DEGLUCIÓN MEDIANTE VIDEOFLUOROSCOPIA	31
FIGURA 10. IMAGEN FIBROENDOSCÓPICA [TERRÉ & MEARIN, 2007].	31
FIGURA 11. TRÍADA DINÁMICA PARA EL TRATAMIENTO DE DISFAGIA. [BRITO ET AL., 2012].	37
FIGURA 12. MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS EN FLUJO CORTANTE Y EXTENSIONAL [BARNES, 2010].	49
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO CAUSADO POR EL ESFUERZO DE CIZALLA [HERNÁNDEZ, 2012].	50
FIGURA 14. EJEMPLOS DE CURVA DE FLUJO PARA DOS FLUIDOS NEWTONIANOS [RAMÍREZ, 2006].	52
FIGURA 15. CURVAS DE FLUJO PARA DISTINTOS TIPOS DE FLUIDOS [HERNÁNDEZ, 2012].	53
FIGURA 16. EJEMPLOS DE CURVA DE FLUJO PARA UN FLUIDO REOFLUIDIZANTE [HERNÁNDEZ, 2012].	54
FIGURA 17. EJEMPLOS DE CURVA DE FLUJO PARA UN FLUIDO REOESPESANTE [HERNÁNDEZ, 2012].	55
FIGURA 18. EJEMPLOS DE CURVA DE FLUJO PARA FLUIDOS DEPENDIENTES DEL TIEMPO DE APLICACIÓN [HERNÁNDEZ, 2012].	56
FIGURA 19. TIPOS DE FLUJO EXTENSIONAL [BARNES, 2010].	58
FIGURA 20. EJEMPLO DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA.	66
FIGURA 21. REÓMETRO DE ORIFICIO DE BOMBA DE LÓBULOS CON CONTRACCIÓN SEMIHIPERBÓLICA.	67
FIGURA 22. CABINA DE EVALUACIÓN SENSORIAL Y MATERIAL DE EVALUACIÓN PARA PERFIL FLASH.	72
FIGURA 23. JUECES EVALUANDO LAS MUESTRAS DEL PERFIL FLASH.	72
FIGURA 24. CHAROLA DE EVALUACIÓN PARA CONSUMIDOR.	73
FIGURA 25. CONSUMIDORES REALIZANDO LA PRUEBA AFECTIVA DE NIVEL DE AGRADO.	73
FIGURA 26. CURVA DE FLUJO PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AGUA ESPESADA CON FÉCULA DE MAÍZ.	75
FIGURA 27. CURVA DE FLUJO PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE LECHE LIGHT (LL) ESPESADA CON FM.	76
FIGURA 28. CURVA DE FLUJO PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BEBIDA DE SOYA (BS) ESPESADA CON FÉCULA DE MAÍZ.	76
FIGURA 29. COMPARACIÓN DE CURVA ESFUERZO/VELOCIDAD DE CIZALLA PARA LA CONCENTRACIÓN 4.5% FM.	77
FIGURA 30. COMPARACIÓN DE CURVAS DE ESFUERZO/VELOCIDAD DE CIZALLA PARA LA CONCENTRACIÓN 7% FM.	78
FIGURA 31. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR CHOCOLATE.	79
FIGURA 32. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR ARROZ CON LECHE.	80
FIGURA 33. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR VAINILLA 1.	80
FIGURA 34. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR FRESA.	81
FIGURA 35. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR NUEZ.	81
FIGURA 36. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR VAINILLA.	82
FIGURA 37. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS BASE AGUA ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ AL 4%.	85
FIGURA 38. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS BASE AGUA ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ AL 8%.	85
FIGURA 39. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL ASPECTO DE LAS MUESTRAS DE LECHE DESLACTOSADA.	88

FIGURA 40. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL OLOR DE LAS MUESTRAS DE LECHE DESLACTOSADA.....	89
FIGURA 41. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL SABOR DE LAS MUESTRAS DE LECHE DESLACTOSADA. ....	90
FIGURA 42. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA LA TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE LECHE DESLACTOSADA.....	91
FIGURA 43. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL ASPECTO DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE SOYA. ....	92
FIGURA 44. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL OLOR DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE SOYA. ....	93
FIGURA 45. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL SABOR DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE SOYA. ....	94
FIGURA 46.ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA LA TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE SOYA. ....	95
FIGURA 47. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL ASPECTO DE LAS MUESTRAS DE LECHE LIGHT. ....	96
FIGURA 48. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL OLOR DE LAS MUESTRAS DE LECHE LIGHT. ....	97
FIGURA 49. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL SABOR DE LAS MUESTRAS DE LECHE LIGHT. ....	98
FIGURA 50. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA LA TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE LECHE LIGHT.....	99
FIGURA 51. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL ASPECTO DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE MANZANA. ....	100
FIGURA 52. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL OLOR DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE MANZANA.....	101
FIGURA 53. ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA EL SABOR DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE MANZANA. ....	102
FIGURA 54.ESPACIO SENSORIAL DE ATRIBUTOS PARA LA TEXTURA DE LAS MUESTRAS DE BEBIDA DE MANZANA. ....	103
FIGURA 55. PORCENTAJE DE FRECUENCIA DE CONSUMO DE PRODUCTOS LÁCTEOS EXPRESADA EN PORCENTAJE. ....	104
FIGURA 56. FRECUENCIA DE CONSUMO DE TIPO DE LECHE Y/O PRODUCTOS LÁCTEOS EN PORCENTAJE. ....	105
FIGURA 57. FRECUENCIA DE CONSISTENCIA PREFERIDA POR LOS CONSUMIDORES EXPRESADA EN PORCENTAJE.....	105
FIGURA 58. FRECUENCIA DE CONSUMO DE ATOLES EXPRESADA EN PORCENTAJE. ....	105
FIGURA 59. FRECUENCIA DE CONSUMO DE NATILLAS EXPRESADA EN PORCENTAJE. ....	106
FIGURA 60. CONSUMO DE BEBIDAS TEXTURIZADAS EXPRESADO EN PORCENTAJE. ....	106
FIGURA 61. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE APARIENCIA ENTRE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS. ....	107
FIGURA 62. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE OLOR ENTRE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS. ....	108
FIGURA 63. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE SABOR ENTRE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS. ....	109
FIGURA 64. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE TEXTURA ENTRE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.....	110
FIGURA 65. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE GRUMOSIDAD ENTRE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS. ....	111
FIGURA 66. COMPARACIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE LAS MUESTRAS EN GENERAL.....	112
FIGURA 67. FRECUENCIA DE RESPUESTA SOBRE LA INCLUSIÓN DEL PRODUCTO EN LA DIETA DEL PANELISTA. ....	113
FIGURA 68. GRÁFICA DE ARAÑA PARA COMPARACIÓN DE RESULTADOS BEBIDA DE SOYA (ESCALA HEDÓNICA). ....	113
FIGURA 69. GRÁFICA DE ARAÑA PARA COMPARACIÓN DE RESULTADOS L. DESLACTOSADA (ESCALA HEDÓNICA).....	114
FIGURA 70. CURVA DE FLUJO PARA BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ.....	115
FIGURA 71. BARRIDO DE FRECUENCIA DEL MÓDULO DINÁMICO A $\gamma=1$ DE LOS PRODUCTOS ESPESADOS. ....	118
FIGURA 72. BARRIDO DE FRECUENCIA DEL MÓDULO $G''$ DE LOS PRODUCTOS ESPESADOS CON FM ( $\gamma=1$ ). ....	118
FIGURA 73. BARRIDO DE FRECUENCIA DEL MÓDULO $G'$ DE LOS PRODUCTOS ESPESADOS CON FM ( $\gamma=1$ ). ....	119
FIGURA 74. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA BEBIDA DE JUGO DE MANZANA ESPESADA CON FM ( $\gamma=1$ ). ....	119
FIGURA 75. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA BEBIDA DE SOYA ESPESADA CON FM S. ARROZ CON LECHE ( $\gamma=1$ ). ....	120
FIGURA 76. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA LECHE DESLACTOSADA ESPESADA CON FM SABOR CHOCOLATE.....	120
FIGURA 77. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA LECHE LIGHT ESPESADA SABOR VAINILLA A BAJA AMPLITUD ( $\gamma=1$ ). ....	121
FIGURA 78. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA BEBIDA DE JUGO AL DOBLE DE LA CONCENTRACIÓN DE FM ( $\gamma=1$ ). ....	121
FIGURA 79. BARRIDO DE FRECUENCIA DE LA BEBIDA DE SOYA AL DOBLE DE LA CONCENTRACIÓN DE FM ( $\gamma=1$ ).....	122
FIGURA 80. CURVA DE FLUJO EXTENSIONAL PARA VELOCIDADES DE ELONGACIÓN BAJAS (CONTRACCIÓN $\frac{1}{4}'$ ).....	123
FIGURA 81. CURVA DE FLUJO EXTENSIONAL PARA LA CONTRACCIÓN $\frac{1}{8}'$ . ....	126
FIGURA 82. CURVA DE FLUJO EXTENSIONAL DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE VARIBAR® VS LEY DE TROUTON. ....	129
FIGURA 83. CURVA DE FLUJO EXTENSIONAL DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE BJM Y LD VS LEY DE TROUTON. ....	129
FIGURA 84. CURVA DE FLUJO EXTENSIONAL DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DE BS Y LL VS LEY DE TROUTON. ....	130

## Índice de Tablas

TABLA 1. FUNCIONALIDAD DE ALMIDÓN EN DIFERENTES SISTEMAS [MASON, 2009].	20
TABLA 2. ESPECIFICACIONES SENSORIALES DE LA FÉCULA DE MAÍZ.	23
TABLA 3. ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA FÉCULA DE MAÍZ.	23
TABLA 4. INFORMACIÓN NUTRIMENTAL FÉCULA DE MAÍZ PARA PREPARAR ATOLE FORTIFICADO.	23
TABLA 5. INFORMACIÓN NUTRIMENTAL FÉCULA DE MAÍZ PARA PREPARAR ATOLE FORTIFICADO.	24
TABLA 6. PRINCIPALES CAUSAS DE DISFAGIA [JIMÉNEZ ET AL., 2007].	28
TABLA 7. VALORES DE VISCOSIDAD PARA ESTÁNDARES DE LA NDD [ADA, 2002].	38
TABLA 8. PUNTOS DE LA ESCALA HEDÓNICA.	46
TABLA 9. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LAS MATRICES BASE TIPO LÁCTEAS UTILIZADAS.	63
TABLA 10. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LAS MATRICES BASE TIPO AGUA UTILIZADAS.	63
TABLA 11. CONCENTRACIONES DE FÉCULA DE MAÍZ UTILIZADAS PARA LAS PRUEBAS INICIALES CON FM.	65
TABLA 12. PRODUCTOS DE ATOLE UTILIZADOS PARA LAS MATRICES TIPO LÁCTEAS ESPESADAS CON FM 4.5% .	65
TABLA 13. CONCENTRACIONES DE FÉCULA DE MAÍZ UTILIZADAS PARA LAS MATRICES BASE AGUA.	65
TABLA 14. VALORES DE VELOCIDAD DE ELONGACIÓN OBTENIDOS DE ACUERDO AL FLUJO VOLUMÉTRICO.	69
TABLA 15. RESUMEN DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA.	78
TABLA 16. RESUMEN DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA.	82
TABLA 17. DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA HONESTA PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS DISTINTAS MATRICES.	83
TABLA 18. RESUMEN DE PARÁMETROS REGRESIONES PARA MATRICES BASE AGUA.	86
TABLA 19. DMSH PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS MATRICES CON FÉCULA DE MAÍZ 4.5%.	86
TABLA 20. DMSH PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS DISTINTAS MATRICES CON FÉCULA DE MAÍZ 8%.	86
TABLA 21. CONCENTRACIONES DE FÉCULA DE MAÍZ Y AZÚCAR PARA LAS MATRICES BASE.	87
TABLA 22. ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LOS PRODUCTOS TEXTURIZADOS.	112
TABLA 23. RESUMEN DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA.	116
TABLA 24. DMSH PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS MATRICES ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ.	116
TABLA 25. RESUMEN DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA PARA BAJAS VELOCIDADES DE ELONGACIÓN.	124
TABLA 26. DMSH PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS MATRICES ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ.	125
TABLA 27. RESUMEN DE PARÁMETROS DE REGRESIÓN LEY DE POTENCIA PARA ALTAS VELOCIDADES DE ELONGACIÓN.	127
TABLA 28. DMSH PARA EL PROMEDIO DE VISCOSIDAD DE LAS MATRICES ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ.	127
TABLA 29. RESUMEN DE VALORES DE LA RELACIÓN DE TROUTON OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE.	130
TABLA 30. RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBAS DE CORTE Y DINÁMICAS.	131
TABLA 31. RESUMEN DE RESULTADOS PRUEBAS DE VISCOSIDAD EXTENSIONAL A ALTAS Y BAJAS VELOCIDADES.	131
TABLA 32. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR CHOCOLATE.	145
TABLA 33. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR CHOCOLATE A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	145
TABLA 34. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR ARROZ.	146
TABLA 35. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR ARROZ A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	146
TABLA 36. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR VAINILLA 1.	147
TABLA 37. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR VAINILLA <sup>1</sup> A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	147
TABLA 38. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR FRESA.	148
TABLA 39. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR FRESA A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	148
TABLA 40. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR NUEZ.	149
TABLA 41. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR NUEZ A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	149
TABLA 42. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ SABOR VAINILLA 2.	150
TABLA 43. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR VAINILLA <sup>2</sup> A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .	150
TABLA 44. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS BASE AGUA ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ AL 4.5%.	151

TABLA 45. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA BEBIDAS BASE AGUA FM 4.5% A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . .....	151
TABLA 46. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS BASE AGUA ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ 8%.....	152
TABLA 47. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA BEBIDAS BASE AGUA FM 8% A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . .....	152
TABLA 48. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE APARIENCIA DE NIVEL DE AGRADO. ....	155
TABLA 49. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA APARIENCIA DE NIVEL DE AGRADO A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .....	156
TABLA 50. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE OLOR DE NIVEL DE AGRADO.....	157
TABLA 51. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA OLOR DE NIVEL DE AGRADO A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	158
TABLA 52. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE SABOR DE NIVEL DE AGRADO. ....	159
TABLA 53. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA SABOR DE NIVEL DE AGRADO A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .....	160
TABLA 54. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TEXTURA DE NIVEL DE AGRADO. ....	161
TABLA 55. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA TEXTURA DE NIVEL DE AGRADO A UNA VÍA $\alpha=0.05$ .....	162
TABLA 56. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE GRUMOSIDAD DE NIVEL DE AGRADO. ....	163
TABLA 57. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA GRUMOSIDAD DE NIVEL DE AGRADO A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	164
TABLA 58. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO EN GENERAL. ....	165
TABLA 59. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA NIVEL DE AGRADO EN GENERAL A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	166
TABLA 60. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS BASE ESPESADAS CON FÉCULA DE MAÍZ. ....	167
TABLA 61. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA BEBIDAS BASE AGUA FM 8% A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	167
TABLA 62. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS BASE ESPESADAS CON FM PARA ALTAS VELOCIDADES. ....	169
TABLA 63. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA BEBIDAS BASE AGUA FM 8% A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	169
TABLA 64. VALORES DE VISCOSIDAD PARA LAS BEBIDAS BASE ESPESADAS CON FM PARA ALTAS VELOCIDADES. ....	170
TABLA 65. ANÁLISIS ESTADÍSTICO TIPO ANOVA PARA BEBIDAS BASE AGUA FM 8% A UNA VÍA $\alpha=0.05$ . ....	170

## Resumen

En este trabajo se estudiaron las propiedades sensoriales y reológicas de productos espesados con fécula de maíz (FM) con el objetivo de establecer si estos productos son viables dentro del manejo de disfagia orofaríngea. Para ello se evaluó la seguridad de la deglución mediante la comparación del comportamiento reológico con medios de contraste de referencia (sulfato de bario  $\text{BaSO}_4$ ), y sus propiedades organolépticas (Perfil Flash), además del nivel de agrado del producto. Inicialmente, se probaron tres concentraciones de fécula de maíz (1%, 4.5% y 7%) con tres matrices base (bebida de soya, agua y leche light) y se obtuvo la curva de flujo de cada muestra, exhibiendo en todos los casos un comportamiento reofluidizante. Posteriormente, se prepararon productos espesados (FM para preparar atole) con seis sabores diferentes, tres matrices lácteas y dos concentraciones (Tabla 9) así como dos matrices base agua con dos concentraciones (Tabla 10). Las curvas de flujo de cada muestra se compararon con las curvas de los medios de contraste Varibar® consistencia tipo miel y consistencia tipo pudín entre  $50$  y  $100 \text{ s}^{-1}$  (velocidad de deformación). De tal manera que se seleccionaron cuatro productos cuyo comportamiento se aproximó a los fluidos de referencia (Tabla 19) y se realizó un análisis sensorial descriptivo, del cual se observó que al utilizar fécula de maíz, se obtienen productos con apariencia, olor, sabor y textura diferente a la matriz base. No obstante, la prueba de nivel de agrado en general, sitúa a los productos en el punto “me gusta levemente”.

Por último, el estudio reológico se complementó con la evaluación dinámica de baja amplitud y determinación de la viscosidad extensional. Los productos modificados presentaron fluidificación en extensión, siendo sólo el jugo de manzana con FM el producto que mostró relaciones de Trouton superiores a 3; mientras que el comportamiento elástico prevaleció sobre el viscoso hasta  $100 \text{ s}^{-1}$ . De esta forma se confirmó que la aplicación de fécula de maíz (4.5 - 5.8 %) como espesante genera productos con un perfil seguro y sensorialmente aceptable, por lo cual es una alternativa para modificar la textura de alimentos en el manejo de la disfagia orofaríngea.



## INTRODUCCIÓN

La disfagia es una alteración o dificultad en el proceso de la deglución. Este trastorno que aparece en el 80% de los casos de personas que han sufrido daño cerebral (disfagia neurógena), cuya prevalencia aumenta en pacientes de edad avanzada. Su origen puede ser multifactorial y se suele clasificar de acuerdo a la localización del problema: en orofaríngea (si corresponde a las tres primeras fases de la deglución) y esofágica (si corresponde a la última fase de la deglución) [Barroso et al., 2012].

En este padecimiento, la eficacia (posibilidad de ingerir la totalidad de las calorías y el agua necesarias para mantener una adecuada nutrición e hidratación) y la seguridad (posibilidad de ingerir el agua y las calorías necesarias sin que se produzcan complicaciones respiratorias) de la deglución se ven afectadas negativamente [Prado, 2015], debido al peligro de presentar aspiraciones que pueden conducir a neumonía y cuadros de desnutrición y deshidratación. Los trastornos de disfagia comprenden tres niveles de dificultad: severo, moderado y leve [Aguar, 2012].

Por ello, una estrategia ampliamente utilizada dentro del manejo de disfagia orofaríngea, es la modificación de la consistencia de los alimentos mediante el uso de espesantes grado alimenticio. El objetivo es generar productos homogéneos y de fácil masticación que presenten una menor velocidad de tránsito del bolo en la faringe para estimular el reflejo de la deglución y cerrar las vías respiratorias. Esto permite reducir el riesgo de aspiraciones, y a su vez mejora la formación del bolo alimenticio en la boca, ya que el alimento espesado genera una masa cohesiva durante el tránsito [Ney et al., 2009].

Ante esta problemática, la Asociación Dietética Americana (ADA) generó recomendaciones para estandarizar dietas por médicos, dietistas y científicos. Las dietas se dividieron de acuerdo al nivel de disfagia del paciente. Por ejemplo, en el nivel severo, sólo se administran alimentos con una textura tipo triturada (Nivel 1 de

Dieta Nacional de Disfagia); mientras que en los niveles moderado y leve, se permite una textura semisólida (Nivel 2 de Dieta Nacional de Disfagia) [ADA, 2002]

En el caso de líquidos, la ADA recomienda viscosidades superiores a 50 cP para que los pacientes tomen con seguridad y eficacia, es decir, evitar episodios de aspiración e incrementar la ingesta de calorías debido a la naturaleza del espesante. Aunado a ello, se establecieron cuatro términos de etiquetado de acuerdo a la viscosidad del líquido: delgado (thin), consistencia tipo néctar, consistencia tipo miel (honey), consistencia tipo pudín (pudding). Para realizar estudios de disfagia, se han utilizado productos comerciales cuya viscosidad y concentración ha sido estandarizada de acuerdo con la consistencia de medios de contraste de referencia [Leonard et al., 2013].

La mayoría de los espesantes usados para modificar la consistencia de los alimentos son gomas [Hyun & Byoungseung, 2015; Sopade, et al., 2008] que presentan una textura lisa e incluso resbalosa [Matta et al., 2006], por lo que se han buscado alternativas a base de almidón, tales como maltodextrinas [Dewar & Joyce, 2006].

El almidón de maíz (*Zea mays*) es uno de los principales aditivos utilizados en la industria de alimentos, [Greenwood, 1979]. Este polisacárido tiene la funcionalidad de espesante, debido a que presenta la propiedad de gelatinización, es decir, genera un incremento de la viscosidad del sistema, debido a un cambio en el orden estructural del grano de este polisacárido, exhibiendo así propiedades reológicas similares a las referencias utilizadas en estudios de disfagia.

Por otra parte, se debe buscar que las características organolépticas del alimento modificado sean del agrado del consumidor; en consecuencia, es necesario medir tales características con un estudio descriptivo y un estudio afectivo, complementando la caracterización reológica de las muestras, lo que garantizará la viabilidad (seguridad y eficacia) y aceptación al utilizar el almidón de maíz como espesante en pacientes con disfagia orofaríngea.

## JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas del mercado mexicano es la falta de productos comerciales elaborados específicamente para pacientes con disfagia. Asimismo, los espesantes y productos comerciales listos para consumo encontrados en el mercado internacional resultan poco accesibles dado el contexto social de este padecimiento en México.

Aunado a ello, no se cuenta con una cultura alimentaria establecida para el control de la disfagia orofaríngea, y en la mayoría de los casos, se recurre al uso de sondas. Además, esta alteración es vista como un efecto secundario de padecimientos que deben ser tratados con mayor urgencia, tales como Alzheimer, Parkinson, infarto cerebral o carcinomas [Trejo, 2004].

Por otra parte, dada la dificultad para establecer métodos estandarizados en la medición de la seguridad de la deglución debido a las formas irregulares y complejas de la cavidad oral así como la falta de métodos confiables, se ha optado por utilizar la reología como una herramienta comparativa de los suplementos orales con los medios de contraste de sulfato de bario diseñados especialmente para el diagnóstico de este padecimiento. Sin embargo, los estudios reológicos sobre la modificación de la consistencia de los alimentos se basan por convención en una valoración de viscosidad de  $50 \text{ s}^{-1}$  y  $100 \text{ s}^{-1}$  como únicos valores de velocidad de cizalla, y se ignoran por completo los efectos extensionales del alimento modificado [Brito et al., 2012].

Además, los productos modificados con espesantes grado alimenticio exhiben diferentes propiedades reológicas de acuerdo al tipo de espesante (naturaleza química), marca, medio para la preparación, la concentración de espesante, la temperatura, y el tiempo entre preparación y servicio [Hyun & Byoungseung, 2015], por lo que es importante delimitar y considerar estas características. Por ejemplo, los estudios de almidón de maíz encontrados hasta la fecha [Dewar & Joyce, 2006], sólo especifican las propiedades tixotrópicas de este polisacárido comparándolo con maltodextrinas.

En este trabajo se utiliza la fécula de maíz como modificador de consistencia en la elaboración de atoles saborizados, ya que en México es un producto de uso común, accesible y presenta una mayor aceptación y familiaridad por parte del consumidor [Varela & Fiszman, 2013]. En vista de lo anterior, se realizó una caracterización reológica de viscosidad de corte, ensayos viscoelásticos dinámicos y viscosidad extensional que permitan establecer las concentraciones a las cuales se obtenga un comportamiento reológico similar a las referencias de diagnóstico, es decir que tenga la viscosidad de corte y extensional adecuada, además de establecer si el producto es homogéneo y cohesivo.

Este estudio incluye también la caracterización sensorial de los productos espesados con fécula de maíz, lo que permite generar las descripciones de los atributos del producto, observar el efecto de la modificación de textura, las pruebas de nivel de agrado y finalmente, la aceptación por parte del consumidor, parámetro de suma importancia para el producto.

Todo ello, con el fin de generar una opción simple, accesible y amigable para que el trabajo desarrollado sirva como referencia de aplicación en la modificación de textura de alimentos para la alimentación oral (a nivel casero y hospital) de pacientes con disfagia orofaríngea leve o moderada.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- ▶ Realizar un estudio de las propiedades sensoriales y reológicas de distintos fluidos modificados con fécula de maíz mediante metodologías que permitan establecer la seguridad, características organolépticas y nivel de agrado de los productos, para valorar la viabilidad del uso de este producto en pacientes con disfagia orofaríngea leve y moderada.

### Objetivos Particulares

- ▶ Evaluar las propiedades reológicas de los fluidos de contraste (Varibar®) para tener valores de referencia en el análisis reológico de la seguridad de la deglución.
- ▶ Realizar un estudio reológico de corte de las matrices base modificadas con diferentes concentraciones de fécula de maíz para evaluarlas a velocidades de cizalla que se asemejen al proceso de deglución.
- ▶ Caracterizar las propiedades sensoriales de las matrices utilizadas y modificadas con una prueba de “*Perfil Flash*” para entender los cambios en la apariencia, olor, sabor y textura de las matrices base al agregar FM.
- ▶ Determinar el nivel de agrado que generan las matrices modificadas en consumidores no habituales y compararlo con los productos sin espesar.
- ▶ Evaluar las propiedades de reología dinámica de las matrices base modificadas con fécula de maíz para evaluar la formación de un producto cohesivo y homogéneo.
- ▶ Evaluar las propiedades de reología extensional de las matrices modificadas con fécula de maíz para evaluar la viscosidad extensional de los productos espesados, un efecto más cercano al proceso de deglución.

## HIPÓTESIS

- ▶ **Hipótesis Alternativa:** Al modificar las matrices base con fécula de maíz, se alteran las propiedades sensoriales (apariencia, olor, sabor y textura) y reológicas (viscosidad de corte y extensional) del alimento, de tal manera que se genera un producto con un perfil seguro y de fácil aceptación sensorial para el manejo de disfagia orofaríngea.
  
- ▶ **Hipótesis nula:** El uso de fécula de maíz como espesante modifica tanto las propiedades sensoriales de apariencia, olor, sabor y textura como las reológicas (viscosidad de corte y extensional) de la matriz pero no es viable para el manejo de disfagia orofaríngea.

# Capítulo 1

## Marco Teórico

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Almidón

El almidón es un polisacárido de reserva de energía encontrado en tejidos vegetales tales como: el endospermo de semillas, granos de cereales, tubérculos y algunas frutas, siendo el carbohidrato más importante dentro de la nutrición humana [Belitz & Grosch, 1999], debido a su alta proporción de calorías (brindando aproximadamente el 80% del aporte energético de la dieta).

Este polímero está formado principalmente por dos tipos de cadenas (amilosa y amilopectina), organizadas en anillos concéntricos para formar estructuras granulares birrefringentes de D-glucopiranososa (glucosa) unidas en enlaces 1-4 y 1-6 alfa glucosídicos (Fig. 1). Estas estructuras granulares poseen formas redondas e irregulares, con tamaños que oscilan entre 2 y 100  $\mu\text{m}$  [Coultrate, 2007]. Entre sus propiedades físicas destaca su poca capacidad de hidratación y solubilidad en agua fría.

Debido a la naturaleza de los enlaces descritos, el almidón solamente cuenta con un extremo reductor, por lo que no es considerado un azúcar reductor, ya que las técnicas de Fehling y Tollens no tienen la sensibilidad adecuada para mostrar la reacción de este único extremo anomérico, por lo que bajo este criterio, el almidón no presenta capacidad reductora.

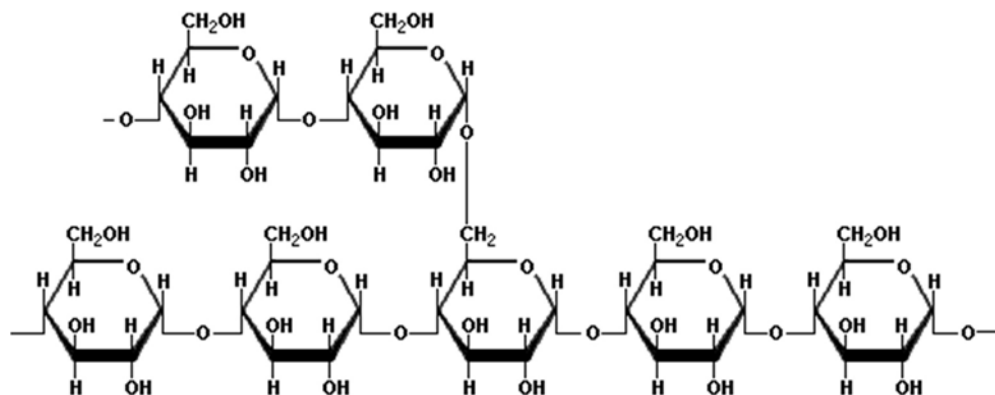


Figura 1. Representación de la estructura química del almidón [Betancour et al., 2008].



### 1.1.1 Amilosa

La amilosa es la parte lineal del almidón, conformada por largas cadenas de  $\alpha$ -D-glucopiranososa, unidas por enlaces 1-4 (Fig. 2). Sin embargo, se ha reportado que presenta una pequeña cantidad de ramificaciones  $\alpha$ -(1-6) encontrándose una ramificación por miles de unidades, de manera que su peso molecular típico se encuentra entre  $2 \times 10^5$  y  $2 \times 10^6$  daltons [Greenwood, 1979].

La mayor parte de los almidones contienen entre 20-25% de amilosa. No obstante, existen excepciones como el almidón amiláceo, con un 50-80% de contenido de amilosa y la variedad de almidón de maíz céreo, con muy poca o ninguna.

A su vez, esta parte de la cadena es fácilmente disuelta en agua y presenta una menor solubilidad en disolventes orgánicos, tales como el butanol o ácido caprílico o caproico, por lo que es posible separar la amilosa de una disolución de almidón.

La amilosa adquiere una estructura secundaria característica en forma helicoidal, en la que cada hélice está compuesta por seis unidades de glucosa. [Belitz & Grosch, 1999]

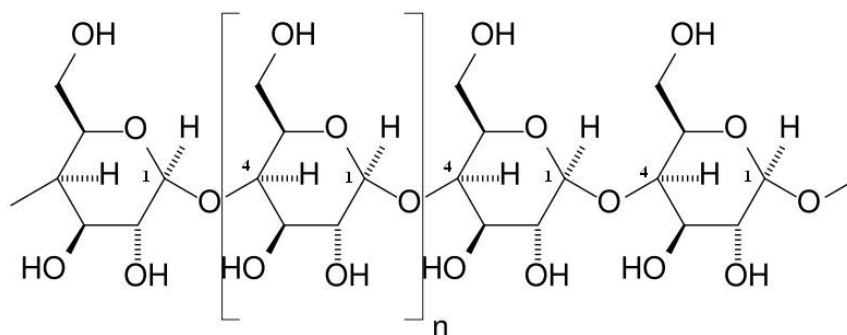
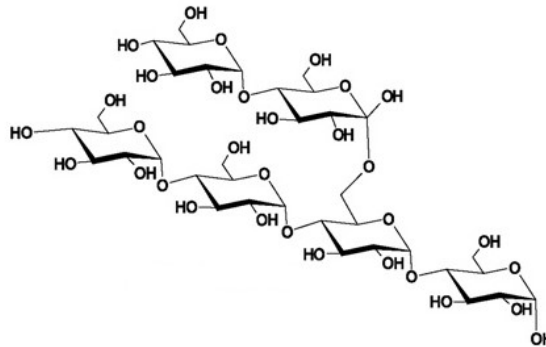


Figura 2. Representación del enlace  $\alpha$ -1-4 glucosídico de la amilosa [Thanh Ha, 2013].

### 1.1.2 Amilopectina

La amilopectina es una molécula altamente ramificada con  $10^6$  unidades de glucosa por molécula, la mayor parte del almidón contiene alrededor de 70-80% de amilopectina [de Miranda et al., 2007].

Este polisacárido está formado por enlaces  $\alpha$ -1-4 y enlaces  $\alpha$ -1-6, con un contenido de 4-5% unidades de glucosa que generan ramificaciones con una longitud de cadena promedio de 20 a 25 unidades y un peso molecular aproximado entre  $10^7$  y  $10^8$  daltons (Fig 3).

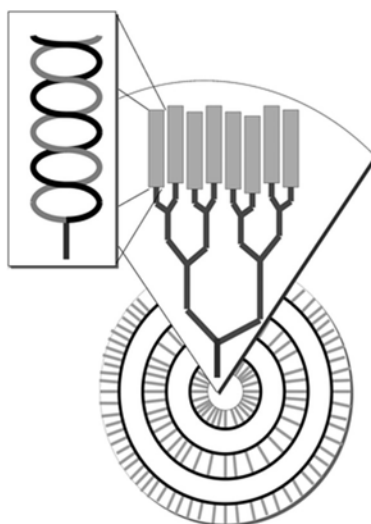


**Figura 3. Representación de la estructura química de la amilopectina [de Miranda et al., 2007]**

Se ha observado que la amilopectina presenta dos tipos de cadenas: “A” y “B”. Estas ramificaciones modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del almidón.

#### 1.1.3 Modelo «cluster»

Actualmente el modelo «cluster» es el más aceptado [Yuryev et al., 2007]. Este modelo consiste en la representación de cadenas monorramificadas de 15 unidades denominadas “A” que llevan consigo racimos de cadenas de 40 unidades denominadas “B”. Se cree que las moléculas de amilopectina rodean el grupo reductor terminal hacia el centro de forma radial, posiblemente cerca de un núcleo central visible llamado *hilum*, conduciendo a la formación de capas concéntricas de cadenas de polisacáridos regularmente orientadas y con mayor densidad, constituyendo una estructura cristalina (forma de doble hélice proveniente de las ramas de amilopectina), incrustada en las capas amorfas (cadenas de amilosa y ramificaciones de amilopectina) que presentan menor densidad (Fig. 4) [van der Sman & Meinders, 2010].

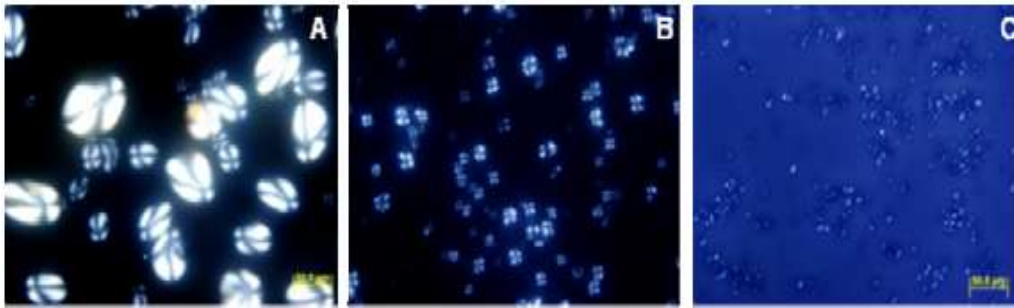


**Figura 4. Representación esquemática de un gránulo de almidón nativo. (El gránulo muestra capas alternantes de la fase amorfa, conformada por la amilosa y las ramificaciones de amilopectina; y la fase cristalina, dobles hélices conformadas por las ramas de amilopectina). [van der Sman & Meinders, 2010].**

El gránulo de almidón [Medina & Salas, 2006] y su tamaño son determinantes en su capacidad de procesamiento, lo cual afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento granular (que facilita la liberación de cadenas poliméricas solubles para formación de una única fase amorfa coherente). El hinchamiento granular y la liberación de material soluble comienza en el *hilum* del gránulo de almidón y rápidamente se extiende a la periferia.

#### 1.1.4. Birrefringencia

Debido al alto grado de orientación molecular de este polisacárido semi-cristalino [Palma et al., 2010], la molécula de almidón presenta como propiedad, la birrefringencia, es decir, posee dos índices de refracción perpendiculares al ser observado en un microscopio de luz polarizada. Al desviar la luz en dos direcciones se aprecia una figura denominada cruz de malta (Fig. 5), donde el centro de la cruz es el *hilum*. Cabe mencionar que al gelatinizar el almidón, se pierde esta propiedad.



**Figura 5. Microscopía de luz polarizada de almidones nativos: A, papa; B, maíz; C, arroz.**  
[Palma et al., 2010]

#### 1.1.5 Gelatinización del almidón

La gelatinización es un proceso que involucra una transición de fase única del estado nativo, semi-cristalino del gránulo de almidón hacia un estado gomoso. Inicialmente un gránulo de almidón es insoluble en agua, debido a que los puentes de hidrógeno mantienen las cadenas unidas. Al aumentar la temperatura del sistema, los gránulos comienzan a absorber agua y se hinchan de manera reversible hasta alcanzar la temperatura de gelatinización. Conforme el hinchamiento prosigue, los gránulos hinchados comienzan a chocar y las dobles hélices del almidón se desdoblan, provocando así, que las moléculas de amilosa sean lixiviadas, debido a la incompatibilidad de esta con la amilopectina, lo que genera un aumento de la viscosidad en la pasta formada.

Estas temperaturas son características de cada tipo de almidón, pero generalmente varían entre 55-70 °C; sin embargo, la total conversión al estado amorfo se lleva a cabo a los 100 °C.

Si el sistema continúa su calentamiento con agitación, la viscosidad llega a un máximo y decae, a medida que la cohesión se debilita y la estructura granular colapsa, por lo que los gránulos pierden su integridad por efecto físico de la agitación. Sin embargo, si la pasta se enfría, la viscosidad vuelve a elevarse debido al restablecimiento de puentes de hidrógeno entre la amilopectina y la amilosa para formar un producto de consistencia tipo gel.

Es por ello que la viscosidad máxima de una suspensión de almidón se alcanza si los gránulos se hinchan de manera uniforme y se presenta un mínimo colapso. Esto requiere una buena dispersión para hidratar los gránulos y agitación para lograr una eficiente transferencia de calor [Mason, 2009].

#### 1.1.6 Retrogradación del almidón

La retrogradación es un fenómeno físico que consiste en la insolubilización espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrógeno. Cada tipo de almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, debido a su contenido de amilosa.

La retrogradación tiene por consecuencia que las soluciones diluidas, pierdan viscosidad y que las pastas concentradas y geles se tornen gomosos y exuden agua.

Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación, las cuales dependen de la concentración y temperatura del sistema:

- ▶ Rápida: Al calentar una solución concentrada de amilosa y enfriarla rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.
- ▶ Lenta: Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente

#### 1.1.7 Aplicación de almidón en alimentos

El almidón es uno de los aditivos más utilizados en la industria alimentaria, además de los usos descritos en la Tabla 1, es un sustrato para obtener jarabe de glucosa (jarabe de maíz hidrolizado). Recientemente, se ha utilizado en biopelículas de amilosa para generar envases biodegradables [López, 2011].

Tabla 1. Funcionalidad de almidón en diferentes sistemas [Mason, 2009].

Funcionalidad	Alimento
<b>Adhesión</b>	Productos de panadería
<b>Espesamiento</b>	Aderezos, rellenos de postres, sopas
<b>Opacidad</b>	Bebidas
<b>Crunch</b>	Botanas, alimentos fritos y horneados
<b>Estabilizante de Emulsiones</b>	Bebidas, salsas y cremas
<b>Encapsulamiento</b>	Sabores
<b>Expansión</b>	Cereales, botanas, galletas
<b>Sustituto de grasa</b>	Helados, aderezos,
<b>Formador de espuma</b>	Malvaviscos
<b>Agente gelificante</b>	Gomitas
<b>Protector vs humedad</b>	Cárnicos, pasteles
<b>Moldeado</b>	Gomas, Caramelos

## 1.2 Fécula o Almidón de maíz

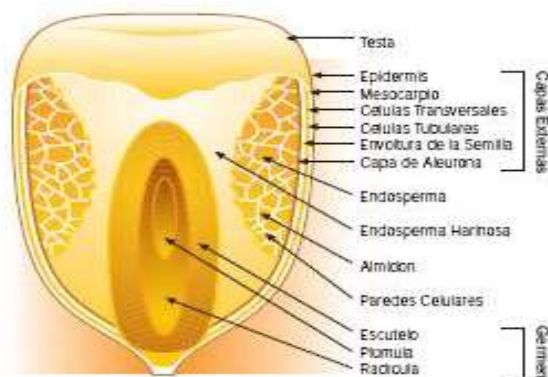
### 1.2.1 Granos de maíz

El maíz (*Zea mays*) es un cereal de la familia de las Gramíneas, originario de América, cuyo cultivo se ha extendido alrededor del mundo cuya producción anual consiste en aproximadamente 1,000 millones de toneladas a nivel mundial; siendo EU, China, Brasil y México [FAOSTAT, 2013] los principales productores de este grano.

El grano de maíz o cariósido se compone de endospermo (82-83%), germen (10-11%), pericarpio (5-6%), y pilorriza (0.8-1.0%). El pericarpio es la capa más externa, caracterizada por el alto contenido de fibra cruda (86%), cuyos componentes

principales son hemicelulosa, celulosa y lignina, siendo la hemicelulosa el mayor componente.

El espesor del pericarpio varía de acuerdo a la variedad de maíz y se extiende desde la base, donde se une con la piloriza, cubriendo todo el grano. El pericarpio y la piloriza contienen un despreciable contenido de lípidos; en cambio, el germen se caracteriza por su elevado contenido de lípidos (33%), proteínas (20%) y minerales (10.5%). El endospermo está compuesto por una larga cantidad de células, cada una llena con gránulos de almidón incrustados en una continua matriz proteica. La pared celular está compuesta de  $\beta$ -glucanos y arabinosilanos, proteínas y ácidos fenólicos. El grano de maíz contiene dos tipos de endospermo harinoso y córneo. El endospermo harinoso contiene gránulos de maíz poco compactos rodeando la fisura central, mientras que el endospermo córneo contiene pequeños gránulos de maíz compactados hacia la periferia (Fig. 6).



**Figura 6. Corte transversal de un grano de maíz. (Tomado de <http://www.centrodealternativas.com/alimentacion-salud-uruguay.htm>)**

### 1.2.2 Molienda húmeda de granos de maíz

La molienda húmeda es un proceso utilizado para separar eficientemente las partes del grano de maíz y purificar sus componentes (almidón, proteína, fibra) para uso industrial. Para ello es necesario limpiar el grano y remover material no deseado como paja, pedazos de mazorca, ramas, cáscaras y piedras, mediante aspiración, así como pedazos de metal que pudiera contener, usando electroimanes. En el remojo se logra aumentar la humedad del grano desde 12-14% hasta 45-55%; además se añade dióxido de azufre para suavizar la estructura del grano, ya que este hidroliza los enlaces disulfuro de la matriz proteica y evita la germinación. Posteriormente se elimina el germen para evitar que sea absorbido por el almidón.

Una vez separado el germen se realiza la molienda y mediante un tamizado, se separa la fibra del almidón y gluten. Finalmente el gluten se elimina realizando una centrifugación, debido a la diferencia de densidad entre estos componentes. Después, se lava el almidón para eliminar residuos de proteína y se seca (Fig. 7).

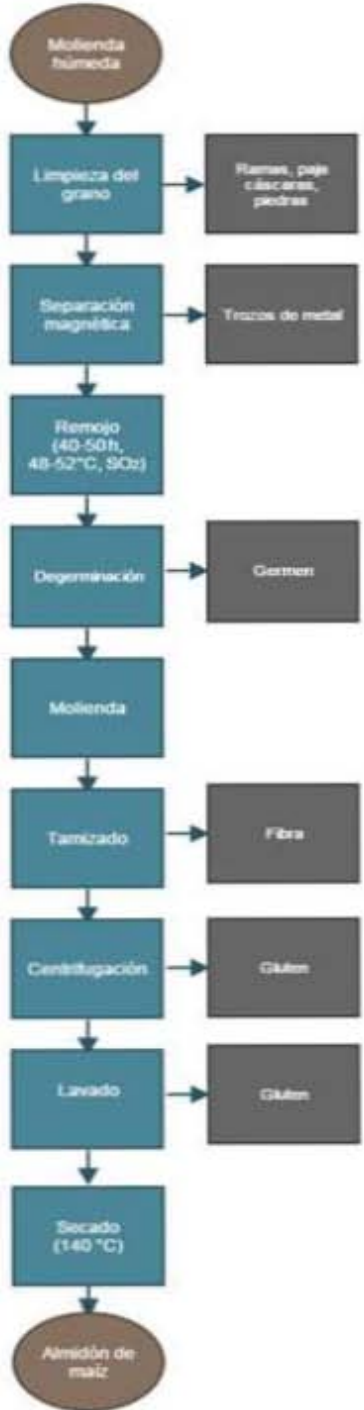


Figura 7. Diagrama de bloques para molienda húmeda de granos de maíz [Tovar, 2008].



### 1.2.3 Fécula de maíz

De acuerdo a la NMX-F-382-1986, la fécula o almidón de maíz se define como el polisacárido obtenido a través de la molienda húmeda de las diversas variedades de maíz (*Zea mays*, L). La norma declara un solo tipo o grado de calidad para este producto, el cual debe cumplir las especificaciones mencionadas en las Tablas 2 y 3. Se observa la información nutrimental de un producto comercial en la Tabla 4.

**Tabla 2. Especificaciones sensoriales de la fécula de maíz.**

Propiedad	Especificación
<b>Color</b>	Blanco
<b>Olor</b>	Característico al cereal, exento de olores extraños
<b>Sabor</b>	Casi neutro, muy ligeramente ácido almidonoso, feculento.
<b>Aspecto</b>	Polvo fino, homogéneo, libre de materia extraña

**Tabla 3. Especificaciones fisicoquímicas de la fécula de maíz.**

Propiedad	Mín	Máx
<b>% Humedad</b>	-	13
<b>% Proteínas (Base Seca)</b>	-	0.8
<b>pH (solución al 10%)</b>	4.5	6.5
<b>SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre ppm)</b>	-	80
<b>Viscosidad °Scott 13g/280 cm<sup>3</sup></b>	80	-

**Tabla 4. Información nutrimental fécula de maíz para preparar atole fortificado.**

Información Nutrimental Marca Maizena®	Tamaño de porción 9.4 g Porciones por envase: 5
<b>Contenido energético kJ (kcal)</b>	146 kJ (34 kcal)
<b>Proteínas</b>	0 g
<b>Grasas (lípidos)</b>	0 g
<b>Carbohidratos</b>	8.6 g
<b>Azúcares</b>	0 g
<b>Fibra dietética</b>	0 g
<b>Sodio</b>	122 mg
	% IDR*
<b>Vitamina A</b>	15
<b>Vitamina B1 (Tiamina)</b>	15
<b>Vitamina B6 (Piridoxina)</b>	15
<b>Vitamina B12 (Cobalamina)</b>	15
<b>Vitamina C (Á. ascórbico)</b>	15
<b>Niacina (Ácido nicótico)</b>	15
<b>Ácido fólico (Folacina)</b>	15
<b>Hierro</b>	15
<b>Zinc</b>	15

\*Tomando como referencia Valores Nutrimentales para la población mexicana.

### 1.2.4 Fécula de maíz para preparar atole fortificado

El atole, del náhuatl *atolli* ‘aguado’ [Vargas, 2010], es una bebida prehispánica mexicana tradicionalmente preparada a base de cereales, principalmente maíz. Los atoles son alimentos tradicionales incluidos en el desayuno de una gran parte de la población. Originalmente estas bebidas eran preparadas con harina de maíz y agua, que al cocerse lograba una moderada viscosidad.

Actualmente se pueden encontrar en el mercado productos comerciales para preparar atoles. Se trata de polvos finos a base de fécula de maíz, lo que significa un bajo aporte de lípidos y proteínas. Estos productos son formulados con colorantes y saborizantes, de acuerdo al sabor deseado; entre ellos: chocolate, nuez, fresa, vainilla, arroz con leche, cajeta, etc. Además se fortifican con proteínas y minerales y se utiliza dióxido de silicio o carbonato de calcio como antiaglomerante y sal como potenciador de sabor (Tabla 5).

**Tabla 5. Información nutrimental fécula de maíz para preparar atole fortificado.**

<b>Información Nutrimental</b>	<b>Marca Maizena® Sabor Vainilla Tamaño de porción 9.4 g Porciones por envase: 5</b>	<b>Marca Klass® Sabor Arroz con leche Tamaño de porción 9 g Porciones por envase: 5</b>
<b>Contenido energético kJ (kcal)</b>	146 kJ (34 kcal)	124 kJ (28 kcal)
<b>Proteínas</b>	0 g	0 g
<b>Grasas (lípidos)</b>	0 g	0 g
<b>Carbohidratos</b>	8.6 g	7 g
<b>Azúcares</b>	0 g	0 g
<b>Fibra dietética</b>	0 g	0 g
<b>Sodio</b>	122 mg	20 mg
	<b>% IDR*</b>	<b>% IDR*</b>
<b>Vitamina A</b>	15%	10%
<b>Vitamina B1 (Tiamina)</b>	15%	10%
<b>Vitamina B6 (Piridoxina)</b>	15%	10%
<b>Vitamina B12 (Cobalamina)</b>	15%	10%
<b>Vitamina C (Á. ascórbico)</b>	15%	10%
<b>Niacina (Ácido nicótico)</b>	15%	10%
<b>Ácido fólico (Folacina)</b>	15%	10%
<b>Hierro</b>	15%	10%
<b>Zinc</b>	15%	10%

\*Tomando como referencia Valores Nutrimentales para la población mexicana.

### 1.3 Disfagia

La disfagia [Barroso et al., 2012], del griego, *dys* (dificultad) y *phagia* (comer), es un padecimiento en el que se presenta una alteración o dificultad para transportar alimentos de la boca al estómago. Es un término que describe un síntoma que puede ser ocasionado por alteraciones estructurales que dificultan el transporte del bolo, o bien, por alteraciones funcionales que pueden afectar la formación y manejo del bolo. Se ha reportado que aproximadamente el 7-10 % de adultos mayores de 50 años padecen disfagia [Martínez & Sánchez, 2009], sin embargo el porcentaje aumenta a 30-40% para adultos mayores de 50 años hospitalizados. En EE.UU. se estima una prevalencia del 22% para adultos mayores de 50 [Howden, 2004] y aproximadamente 40% para adultos mayores de 60 años. [Ney et al., 2009]. La prevalencia de disfagia es especialmente importante en pacientes con patología neurodegenerativa y oncológica.

Como consecuencia de este problema de deglución, puede producirse penetración de material alimenticio en vías diferentes a la digestiva provocando, en ocasiones, episodios de aspiración traqueal o bronquial (por paso de agua o alimentos a la tráquea y bronquios) o aspiraciones silentes (penetración de saliva o comida por debajo de las cuerdas vocales sin ocasionar tos ni otros signos observables de dificultad deglutoria).

La actividad de masticación y deglución normal es un rápido y complejo proceso de movimientos voluntarios e involuntarios en el que participan al menos seis pares de nervios craneales, los tres primeros segmentos de los nervios cervicales y los 26 músculos de la boca, faringe y esófago.

Por lo tanto es posible dividir este proceso en cuatro fases (Figura 8): fase oral preparatoria, fase oral de transporte, fase faríngea y fase esofágica, que consisten en:

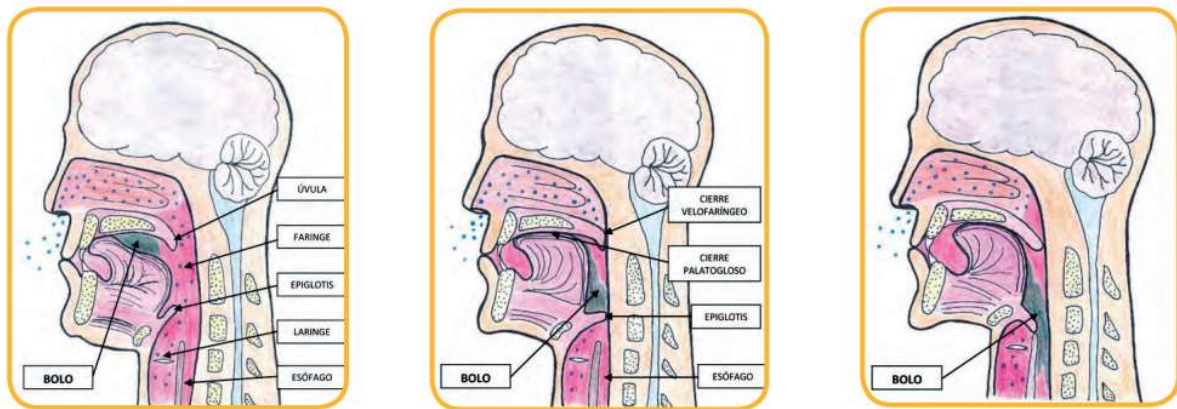
- **Fase Oral Preparatoria:** Consiste en la salivación previa a la ingesta. Se encuentra bajo control neuromuscular voluntario para preparar el alimento, de tal forma que el alimento sea presentado en una consistencia y posición

óptimas para que las siguientes fases de la deglución puedan llevarse a cabo de manera apropiada, es decir, que los movimientos de labios, boca, lengua y mandíbula, aunados a la saliva, permitan la transformación de la textura del alimento para formar el bolo.

- ▶ **Fase Oral de Transporte:** Se trata de un movimiento, de adelante hacia atrás, del sistema neuromuscular voluntario para llevar el bolo al fondo de la boca. Cuando el alimento sólido o líquido, junto con el dorso de la lengua, toca los pilares anteriores, se desencadena el reflejo de deglución propiamente dicho, es decir, se permite el paso del bolo a la faringe. Normalmente esta fase dura aproximadamente 1 segundo.
- ▶ **Fase Faríngea:** Consiste en la propulsión del bolo alimenticio a través de la faringe, asociada a mecanismos de protección de la vía aérea. Se encuentra bajo control neuromuscular involuntario. Normalmente esta fase dura aproximadamente 1 segundo para alimentos líquidos y toma un lapso de 5-10 segundos para sólidos.
- ▶ **Fase Esofágica:** Es la última etapa de la deglución y comprende el desplazamiento del bolo desde el esófago hacia el estómago. El esófago está compuesto por una pared muscular y paredes de mucosa y sub mucosa; el flujo de alimentos está controlado por el esfínter esofágico superior, así como el esfínter esofágico inferior que controla la entrada del bolo en el estómago. Con la deglución se inicia la perístasis primaria; la secundaria se inicia con la entrada del bolo al esófago. El tránsito de líquidos por otra parte, está influido también por la gravedad. El tiempo de tránsito del bolo por el esófago es de 10-15 segundos.

Cuando existe alguna alteración en la deglución durante la fase oral y/o faríngea, se le denomina disfagia orofaríngea y cuando se trata de una alteración de la última fase de la deglución, se denomina disfagia esofágica. La disfagia de origen

esofágico puede ser causada por trastornos motores del cuerpo esofágico y/o de sus esfínteres.



**Figura 8. Representación esquemática de las fases de la deglución: fase oral preparatoria (izquierda), fase oral de transporte (centro) y fase esofágica (derecha) [Barroso et al., 2012].**

A su vez, la disfagia puede dividirse de acuerdo a la gravedad de este padecimiento, presentando tres niveles [Aguiar, 2012]:

- ▶ **Disfagia Leve:** Se caracteriza por trastornos de la motilidad lingual, en la transformación del bolo alimenticio, retraso en la deglución, y pérdida del contenido oral. No se observa tos ni cambios en la voz, tampoco hay riesgo de aspiraciones.
- ▶ **Disfagia Moderada:** Se caracteriza por alteraciones en la motilidad y coordinación de labios y lengua, se presenta escape nasal de alimento, lentitud en el transporte del bolo alimenticio, reflejo de la deglución ausente o lento, tos antes, durante y después de la deglución, cambios en la voz tras la deglución y riesgo de aspiración.
- ▶ **Disfagia Severa:** Presenta escape nasal del alimento, lentitud en el transporte del bolo, tos antes, durante o después de la deglución, reducción de la elevación del hueso hioides y laringe, alteraciones respiratorias y aspiraciones frecuentes.

### 1.3.1 Principales Causas de Disfagia

La disfagia puede ser resultado de diferentes condiciones y enfermedades (Tabla 6). Dentro de las causas principales de disfagia orofaríngea se encuentran aquellas enfermedades que ocasionan alteraciones en la anatomía de los órganos denominándose disfagia estructural y aquellas enfermedades que producen déficits neurológicos y/o neuromusculares, refiriéndonos a este tipo como disfagia neurógena, siendo el grupo más numeroso (80%)

Tabla 6. Principales causas de disfagia [Jiménez et al., 2007].

Localización de disfagia	Lesiones Estructurales	Enfermedades neuromusculares
<b>Disfagia orofaríngea</b>	Lesiones Intrínsecas: Tumores, Estenosis, Cirugía, ACVA, Demencias, Parkinson, Inflammatorias, Infecciosas  Lesiones Extrínsecas: Bocio, Vasculares, Vertebrales.	SNC, ACVA, Demencias, Parkinson, Esclerosis Lateral Amiotrófica. Nervios Craneales: Diabetes mellitus, Parálisis laríngea. Músculo: Miopatías, Distrofias, Hipo/hipertiroidismo, Amiloidosis, Disfunción Cricofaríngea
<b>Disfagia esofágica</b>	Lesiones Intrínsecas: Neoplasias, Estenosis, Cirugía, Cáusticas, Cuerpos Extraños.  Lesiones Extrínsecas: Tumores, Aneurisma, Cardiomegalia.	Carcinoma esofágico. Estenosis péptica. Compresión vascular (aneurisma de aorta). Adenopatías mediastínicas (carcinoma de pulmón, linfoma, tuberculosis). Osteoartropatía cervical. Acalasia, Espasmo esofágico difuso. Esclerodermia, Diabetes mellitus.

### 1.3.2 Complicaciones de la disfagia

Las complicaciones de la disfagia en el paciente pueden agruparse de la siguiente forma:

- Complicaciones derivadas de la presencia de material extraño en la vía aérea: infecciones respiratorias de repetición y neumonía por aspiración.

Ambos procesos se acompañan de una gran morbimortalidad en esta población.

- ▶ Malnutrición, deshidratación y sus consecuencias.
- ▶ Dependencia, aislamiento social y mayor carga de cuidados, institucionalización.
- ▶ Necesidad, en algunos casos, de utilización de medios de nutrición artificial (sonda nasogástrica, gastrostomía). Utilización de restricciones físicas para mantener el sistema de alimentación enteral artificial en algunos pacientes.

### 1.3.3 Diagnóstico de la disfagia orofaríngea

Existen 3 enfoques que permiten diagnosticar a cualquier paciente con alteraciones de la deglución [Velasco & García-Peris, 2009], estos consisten en:

- ▶ **Evaluación clínica:** Se divide en dos etapas. Primeramente consta de la realización de la historia clínica del paciente, abordando los síntomas que puedan relacionarse con un problema de deglución. Consta generalmente de 11 preguntas sobre los síntomas digestivos y/o respiratorios que pueden presentarse durante la ingesta para determinar si el paciente presenta problemas para deglutir, a qué texturas, con qué frecuencia y con qué grado de severidad.

Posteriormente, se lleva a cabo una exploración clínica donde se observa la postura de deglución del paciente y sus gestos faciales, se valora el estado cognitivo y se realiza una exploración de la cavidad oral, es decir, se observa la capacidad de apertura de la boca, la capacidad de masticación, la ausencia de piezas dentarias, la presencia de restos orales, y cualquier alteración de la anatomía o fisiología de la misma.

En ocasiones se lleva a cabo un cuestionario denominado exploración de la deglución por fases, que pretende localizar alteraciones en los movimientos y estructuras involucrados en cada fase del proceso deglutorio.

Uno de los cuestionarios o “test” más utilizados es el test del agua, el cual consiste en administrar 10 mL de agua y observar si se presenta babeo, además del número de degluciones, tos y disfonía; aunque esta exploración es un método ampliamente usado, se ha comprobado que no detecta el 40% de las aspiraciones silentes.

Asimismo, es común utilizar el método de exploración clínica volumen-viscosidad (MECV-V) que consiste en utilizar bolos de tres viscosidades (néctar, pudín y líquido) y tres volúmenes diferentes (5, 10 y 20 mL). Esto es debido a que la disminución del volumen del bolo y el aumento de la viscosidad, mejoran la seguridad de la deglución. Mediante este método se pueden detectar de una forma segura los principales signos clínicos de disfagia [Velasco& García, 2009].

- **Evaluación videofluoroscópica (VFC):** Es la prueba de referencia para el diagnóstico de la disfagia orofaríngea y por medio de ella, se ha estudiado la fisiología de la deglución en los últimos 20 años; por lo tanto, es una de las pruebas más utilizadas para el diagnóstico de disfagia orofaríngea. Se trata de una técnica radiológica dinámica que consiste en la obtención de una secuencia en perfil lateral y anteroposterior de la ingesta de diferentes volúmenes y viscosidades (líquido, néctar y pudín) de un medio de contraste hidrosoluble (Figura 9).

Los objetivos de la videofluoroscopia consisten en evaluar la seguridad y la eficacia de la deglución, caracterizar las alteraciones de la deglución, evaluar la eficacia de las estrategias y cuantificar el reflejo deglutorio. Los principales signos de alteraciones de la eficacia de la fase oral son la apraxia (dificultad, retraso o imposibilidad en iniciar la fase oral) y la disminución del control y de la propulsión lingual del bolo. Las alteraciones del control lingual (imposibilidad de formar el bolo) o de su propulsión causan la formación de un residuo oral.





**Figura 9. Representación esquemática de las fases de la deglución: fase oral preparatoria, mediante videofluoroscopia [Terré & Mearin, 2007].**

- ▶ **Evaluación fibroendoscópica:** Consiste en el uso de un fibroscopio flexible conectado a una fuente de luz y un aparato de vídeo para grabar la secuencia de imágenes de la deglución, a partir de alimentos teñidos con colorante alimentario para explorar las diferentes texturas y volúmenes (se realiza con volúmenes crecientes: 3, 5, 10, 15 y 20 mL) y en texturas pudín, néctar, líquida y sólida (galleta), obteniendo una visión directa de la faringe-laringe y valorando el paso del alimento, la penetración y la aspiración, tanto sintomática como silente, así como la capacidad del paciente para liberar los residuos de la vía respiratoria (Figura 10).



**Figura 10. Imagen fibroendoscópica [Terré & Mearin, 2007].**

#### 1.3.4 Estrategias en el manejo de disfagia

La meta principal de las estrategias en el manejo de la disfagia es reducir el riesgo de aspiración, mejorar la habilidad de comer y beber por la boca, maximizar el estado de nutrición y la hidratación, así como mejorar o mantener la calidad de vida del paciente. El manejo de la disfagia puede abordarse como terapia médica, cirugía, estrategia compensatoria o estrategia conductual. Siendo esta última, la preferida para intentarse primero [Malandraki & Robbins, 2013], debido a que representa un menor costo y riesgo para el paciente. En los casos en que la alimentación oral no se considera segura para un paciente, las opciones de alimentación no orales pueden ser consideradas.

##### ► **Terapia médica y cirugía**

Existen pocos procedimientos médicos y quirúrgicos para la rehabilitación de la disfagia orofaríngea. Sin embargo, algunos pacientes que presentan discapacidades estructurales o funcionales, son mejor manejados médicamente o quirúrgicamente.

La cirugía es apropiada para pacientes con disfagia neurógena cuando:

- Es evidente que hay una lesión, tal como un tumor.
- Se presenta parálisis de las cuerdas vocales o disfunción del esfínter esofágico superior, que persiste y es sintomática.
- Hay complicaciones significativas de la aspiración crónica a pesar del cese de la alimentación por vía oral.
- El paciente, a pesar de los riesgos para la aspiración, no desea iniciar la alimentación no oral.
- Existe una necesidad de realizar alimentación no oral a largo plazo.

La parálisis de las cuerdas vocales puede contribuir a la presencia de aspiración debido al incompleto cierre de la glotis durante la deglución y la tos ineficaz. Sin embargo, la protección de las vías respiratorias se logra a través de múltiples niveles de acción que se pueden combinar con un procedimiento quirúrgico.

En determinadas circunstancias, las técnicas de deglución y la cirugía se combinan para proporcionar mejores resultados. Se deben considerar cuidadosamente los riesgos y beneficios de la intervención quirúrgica para pacientes con disfagia neurógena.

Para pacientes en los que la ingesta oral no ha sido considerada segura, la opción de alimentación no oral se considera efectiva, si el paciente acepta este tipo de enfoque. La alimentación por sonda nasogástrica y la alimentación parenteral se ofrecen como apoyo nutricional a corto plazo. En pacientes en los que la alimentación no oral es necesaria como una solución a largo plazo, la nutrición enteral es el método de elección.

Algunos estudios realizados en pacientes con disfagia neurógena severa, causada por accidentes cerebrovasculares [James et al., 1998], han demostrado que la alimentación mediante gastrostomía endoscópica percutánea (PEG) incrementa los índices de seguridad y de supervivencia, además de permitir la estabilidad del peso del paciente. Sin embargo, los tubos de PEG no han demostrado ser tan eficaces en pacientes con demencia avanzada [Cervo et al., 2006].

### ► Estrategias conductuales

Las estrategias conductuales para la disfagia neurógena son compensatorias o de rehabilitación. Las primeras consisten en intervenciones diseñadas para reducir, evitar o eludir los efectos de las estructuras deterioradas y la fisiología y la biomecánica de redirigir el flujo del bolo. Las segundas, se basan en intervenciones de neuro-rehabilitación, programas de ejercicios de rango de movimiento, y estrategias de estimulación sensorial y están encaminadas a mejorar la anatomía, la fisiología o los circuitos neuronales, proporcionando así, una influencia directa en las bases biológicas de la deglución.

Los ejercicios de fortalecimiento son, por naturaleza, las intervenciones más activas y rigurosas diseñadas para la disfagia. Los ejercicios de fuerza muscular lingual mejoran la sincronización de los componentes de la deglución en adultos mayores.

Los ejercicios de rango de movimiento (ROM) se pueden orientar hacia las estructuras orales y/o faríngeas y laríngeas involucradas en la deglución, como la elevación de la lengua, ejercicios con gárgaras, y retracción lingual repetida 5-10 veces al día, presentando así una mejora de la deglución en su rendimiento y la inteligibilidad del habla en pacientes con cáncer oral.

Otros ejercicios ROM pueden implicar el uso de estructuras de la laringe o faringe, tales como ejercicios de aducción de las cuerdas vocales, o el ejercicio de falsete que requiere que los pacientes tengan que elevar el tono vocal, practicando así la elevación de su laringe.

Otro enfoque que han utilizado los médicos para reducir la probabilidad de aspiración, consiste en el aumento de la capacidad sensorial, es decir, la estimulación térmica o aplicación termo-táctil (TTA), estrategias fáciles de implementar. Las principales estrategias de estimulación sensorial se describen como: (1) la aplicación del estímulo frío o agrio en sitios específicos de la mucosa orofaríngea durante varios segundos, o (2) la deglución de un bolo frío o ácido.

Además, se ha encontrado que los bolos proporcionados a temperaturas por debajo o por encima de la temperatura corporal, aceleran la activación de la respuesta de deglución. La estimulación del gusto también ha sido una estrategia a seguir para intentar la mejora de la deglución faríngea.

Más aún, se ha reportado que el gusto salado facilita la respuesta de deglución, cuando se aplica a la parte posterior de la lengua; sin embargo, la respuesta no se ve afectada, cuando se aplica a la región faríngea. En cambio el gusto ácido, que es utilizado para mejorar la respuesta de deglución en animales, adultos sanos [Chee et al., 2005], y pacientes con disfagia neurógena, ha servido además, para reducir los incidentes de la penetración y la aspiración en ancianos con disfagia orofaríngea, residentes de hogares de reposo [Pelletier & Lawless, 2003].

Los estudios que han comparado los gustos y enfoques de estimulación térmica al tragar, han demostrado que la combinación de estímulos sensoriales (con frecuencia en forma de un estímulo ácido) y la estimulación fría, tienen resultados

favorables. Cualquiera de estos tipos de estimulación proporcionados en forma aislada, no es tan eficaz [Hamdy et al., 2003; Sciortino et al., 2003].

### ► Estrategias compensatorias

Las estrategias conductuales compensatorias son las más comúnmente utilizadas con los pacientes que sufren de disfagia neurógena [Logemann, 2008]. Estas intervenciones no requieren intensa actividad o demandas rigurosas, en cambio están dirigidas a modificar el flujo del bolo por vía intra-oral o faríngea, ajustarla vía de flujo del bolo o la adaptación del entorno externo. Se cree que son más fáciles de implementar, ya que requieren un mínimo esfuerzo por parte del paciente. Entre ellas se encuentran los ajustes posturales, las modificaciones de la dieta que alteran la comida y los hábitos alimenticios que modifican las estrategias de alimentación y el uso de equipos.

Los ajustes de postura se refieren a posturas simples y fáciles durante la deglución, tales como un ajuste de 45° de la barbilla, para alentar el flujo del bolo alimenticio y permitir que se lleve a cabo la deglución apropiadamente durante la fase faríngea. Además se considera oportuno contar con un familiar que realice la maniobra de Heimlich y mantener una higiene oral adecuada, ya que una higiene pobre es un factor de riesgo para la neumonía. Finalmente una de las estrategias más implementadas consiste en la modificación de la dieta del paciente.

#### 1.3.5 Dieta y modificación de alimentos para pacientes con disfagia

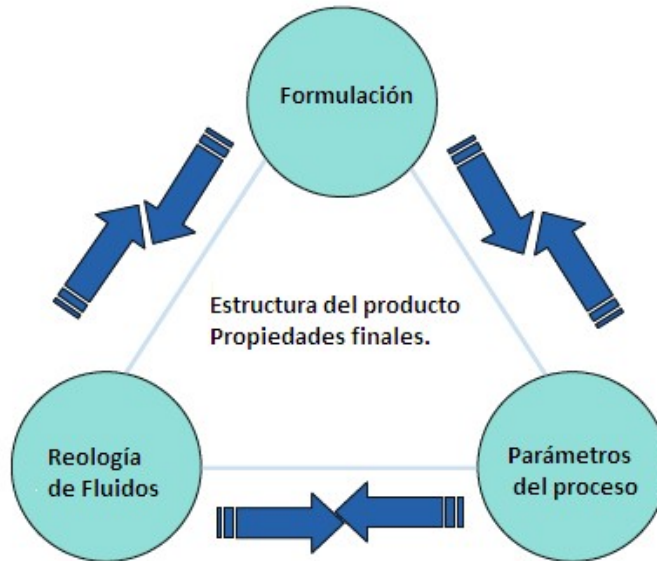
La modificación de la dieta es una intervención compensatoria, comúnmente recomendada para pacientes con disfagia que pueden tener alimentación por la vía oral. Sin embargo, la suspensión de la ingesta de líquidos claros “finos” o “delgados”, como agua, té o café en los hospitales y hogares de ancianos es muy común para minimizar o eliminar la aspiración de estos líquidos, por ser los fluidos más probablemente aspirados por los ancianos [Feinberg et al., 1990]. Es por ello que se recomienda utilizar espesantes para modificar los líquidos regulares, lo que permite que el proceso de deglución sea llevado a menor velocidad de transporte a través de las cavidades oral y faríngea y de este modo, haya más tiempo para iniciar

la protección de la laringe, el reflejo de deglución y prevenir o disminuir la aspiración [Robbins et al., 2009].

La velocidad de tránsito del bolo es considerablemente mayor para la fase faríngea que para la fase esofágica. Por otra parte, como la viscosidad del bolo aumenta, la velocidad de tránsito del bolo disminuye. Se ha estimado que el espectro de velocidad de cizallamiento para todo el proceso de deglución, comprende desde 1 a  $1000 \text{ s}^{-1}$ . Además es importante mencionar que el flujo extensional o elongacional está involucrado en la deformación de un bolo alimenticio, como se observa en los estudios de videofluoroscopia y las imágenes en tiempo real de resonancia magnética. Sin embargo, se ha dado poca atención a la relación de flujo extensional y disfagia. [Brito et al., 2012]. Hasta el momento, las propiedades viscosas son las únicas consideradas en la modificación de alimentos para pacientes con disfagia y todavía presentan demasiadas limitaciones.

La preparación, evaluación de la consistencia y viscosidad, así como la administración de bebidas espesadas a pacientes con disfagia, es universalmente subjetiva. Asimismo, los profesionales sanitarios responsables de la prescripción de una dieta modificada, tienen conocimientos escasos en este campo y por lo tanto, se tiene mucha diversidad en la preparación y pocas alternativas en la dieta para los diversos niveles de disfagia.

La Asociación Americana de Dietética ha utilizado medidas de viscosidad a  $25^\circ \text{ C}$  y una velocidad de corte única de  $50 \text{ s}^{-1}$ . No hay evidencia científica o justificación propuesta para dicha temperatura y velocidad de cizalla. Estudios previos [Williams et al., 2001; Nguyen et al., 1997] consideran la velocidad del tránsito del bolo alimenticio entre 37.1 y 42 cm/s y un tiempo de tránsito de 1.04 s. Sin embargo, al tomar en cuenta las ecuaciones de flujo capilar y peristáltico, se consideran velocidades de cizalla de  $931.7 \text{ s}^{-1}$  para la cabeza del bolo y  $262 \text{ s}^{-1}$  para la cola del bolo. Por ello, existe una propuesta generada para el mejoramiento de las estrategias de modificación de alimentos, basada en la tríada dinámica (Fig. 11) [Brito et al., 2012].



**Figura 11. Tríada dinámica para el tratamiento de disfagia. [Brito et al., 2012].**

De acuerdo a esta estrategia dinámica, es posible diseñar suplementos nutricionales orales que exhiban propiedades reológicas similares a las de las de suspensiones de BaSO<sub>4</sub>, utilizadas como medio de contraste para el diagnóstico de la disfagia.

En lo relativo a la textura, es importante que el alimento sea homogéneo, evitando grumos o espigas y que sea jugoso y blando para facilitar la masticación y promover el reflejo de deglución. También es importante evitar dobles consistencias con mezclas de líquido y sólido e incluir la máxima variación de alimentos para evitar la rutina y procurar que las condiciones organolépticas sean atractivas. Esta modificación permitirá formar un bolo alimenticio cohesionado [Calvo et al., 2012].

Un ensayo clínico aleatorio (ECA) en el campo de la disfagia [Malandraki & Robbins, 2013] comparó la eficacia de la utilización de líquidos espesos frente a ejercicios de postura para pacientes con demencia o la enfermedad de Parkinson [Logemann et al., 2008; Robbins et al., 2009]. Los resultados revelaron que la administración de líquidos espesados puede ser más efectiva que los ejercicios, para reducir o eliminar la aspiración a corto plazo (la más alta viscosidad utilizada fue de consistencia pudín, es decir, 3000 cP). Sin embargo, los resultados a largo plazo mostraron igual desempeño de ambas técnicas.

Otra modificación frecuente de la dieta, recomienda dietas más suaves para los pacientes que no pueden masticar y manipular ciertos alimentos en la cavidad oral. Las dietas suaves permiten que el bolo sea una masa cohesiva durante el tránsito [Ney et al., 2009]. La Asociación Americana de Dietética (ADA) ofrece cuatro niveles como parte de la Dieta Nacional de disfagia en un intento de estandarizar estas recomendaciones.

- ▶ Nivel NDD 1: Disfagia-Puré (homogéneo, muy cohesionado, consistencia pudín, que requiere muy poca capacidad de masticación)
- ▶ Nivel NDD 2: Disfagia mecánica alterada (alimentos semisólidos cohesivos y húmedos, lo que requiere un poco de mascar)
- ▶ Nivel NDD 3: Disfagia avanzada (alimentos blandos que requieren más capacidad de masticación).
- ▶ Regular: (todos los alimentos permitidos)

De una manera similar a la clasificación de los alimentos de la dieta, la NDD aplica cuatro términos usados frecuentemente, a nivel de etiquetado, acerca de la viscosidad del líquido (es decir, espesor o resistencia al flujo). Los términos propuestos por la NDD para líquidos, que correlacionan los intervalos de viscosidad se muestran en la Tabla 7:

**Tabla 7. Valores de viscosidad para estándares de la NDD [ADA, 2002].**

Estándares de NDD	Viscosidad (Pa)	Grado de Disfagia
Consistencia delgada (thin)	0.001-0.05	No recomendable
Consistencia tipo néctar	0.051-0.35	Disfagia Leve
Consistencia tipo miel (honey)	0.35-1.75	Leve a Moderada
Consistencia tipo pudín (pudding)	>1.75	Moderada a Severa

En muchos casos, la modificación de la dieta y los hábitos alimenticios pueden ayudar significativamente a los pacientes con disfagia neurógena, ya que los pacientes comen y beben con mayor seguridad, evitan episodios de aspiración, y aumentan la ingesta de calorías.



## 1.4 Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial es una disciplina utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar reacciones ante aquellas características de los alimentos y otras sustancias que son percibidas por los sentidos [IFT, 1975].

La percepción de cualquier estímulo, ya sea físico o químico, se debe principalmente a la relación de la información recibida por los sentidos, denominados también, órganos receptores periféricos, los cuales codifican la información y dan una respuesta o sensación, de acuerdo a la intensidad, duración y calidad del estímulo. Las características organolépticas de los alimentos, constituyen el conjunto de estímulos que interactúan con los receptores del analizador.

### 1.4.1. Objetivos y alcances de la evaluación sensorial

En términos generales, los objetivos y alcances que logra la evaluación sensorial, se enlistan a continuación:

- ▶ Proporcionar información cuantitativa sobre las propiedades sensoriales del producto a estudiar y productos competitivos de interés.
- ▶ Proporcionar información oportuna sobre los efectos de los ingredientes y del procesamiento, además de los cambios en las propiedades sensoriales de los productos.
- ▶ Proporcionar información cuantitativa sobre la estabilidad y vida útil de un producto.
- ▶ Proporcionar información sobre los factores que tienen influencia sobre las características organolépticas de un producto.
- ▶ Mantener un grupo de jueces calificados para realizar análisis objetivos.
- ▶ Desarrollar métodos para analizar productos con propiedades atípicas.
- ▶ Desarrollar métodos y procedimientos para la relación sensorial, física y química de datos con las diferencias encontradas entre productos.
- ▶ Mantener el conocimiento de los nuevos avances en la evaluación del producto y su aplicación.
- ▶ Realizar pruebas de mercado y pruebas afectivas para entender el nivel de agrado y preferencia de los consumidores.

- ▶ Prestar asistencia a otros grupos de la sociedad, a petición.
- ▶ Asegurarse de que ningún producto falle, debido a una deficiencia sensorial.

#### 1.4.2 Atributos

Es posible realizar una división de los atributos, de acuerdo con los sentidos por los que son percibidos [Witting, 2001].

- ▶ **Apariencia:** Generalmente se detecta a través de la vista que comprende el color, el brillo, la forma y puede dar una idea de textura. La estimación de estas características hace que los otros órganos sensoriales se preparen para sus propias percepciones, haciendo más intensa la respuesta, por ejemplo: la salivación ante un alimento atractivo.

El color y brillo que percibe el ojo depende de la composición espectral de la fuente luminosa, de las características físicas y químicas del objeto, la naturaleza de la iluminación base y la sensibilidad espectral del ojo. Todos estos factores determinan el color que se aprecia: longitud de onda, intensidad de la luz y grado de pureza.

- ▶ **Gusto:** El gusto se detecta en la cavidad oral, específicamente en el paladar, labios y la lengua donde se perciben los 4 gustos básicos (ácido, amargo, salado y dulce). Se trata de un sentido químico. Estos cuatro gustos originan toda la gama de gustos conocida, por interacción mutua de dos o más de ellos, produciendo reforzamiento o enmascaramiento. La sensibilidad del gusto se mide con soluciones acuosas de sustancias puras. Esta sensibilidad es mayor a temperaturas de 20 – 30 °C.

A diferencia del gusto, el «flavor» (combinación de sabor y aroma) se describe como la sensación percibida a través de las terminaciones nerviosas de los sentidos del olfato y gusto principalmente, pero no debe desconocerse la estimulación simultánea de los receptores sensoriales de presión, y los cutáneos de calor, frío y dolor.

- ▶ **Textura:** La textura se detecta mediante el sentido del tacto, que está localizado prácticamente en todo el cuerpo. Mediante el tacto se pueden conocer las características mecánicas, geométricas y de composición de muchos materiales, incluidos los alimentos. Comprende también la percepción visual de la superficie del producto, comportamiento de éste durante su manipulación previa a la ingestión e integración de las sensaciones bucales, experimentadas durante la masticación y deglución, que se integran en el cerebro para dar una sensación única
- ▶ **Olor:** El olor se percibe por medio del olfato, que se encuentra en la cavidad nasal, donde existe una membrana provista de células nerviosas que detectan los aromas producidos por compuestos volátiles. Este sentido es estimulado por energía química principalmente. Es capaz de percibir algunas moléculas diluidas en el aire. La innumerable variedad de olores que existe, hace difícil la tarea de denominarlos y es bastante frecuente, dar el nombre de una asociación conocida. La diferencia principal entre olor y aroma consiste en el que el segundo consiste en la percepción de sustancias volátiles al colocar el alimento en la boca.
- ▶ **Sonido:** Generalmente se detecta el sonido por medio del oído, y se le conoce por la intensidad, altura y timbre. El sentido de la audición percibe vibraciones acústicas a través del aire. Estas vibraciones son recogidas por el oído externo y llevadas al tímpano del oído. El sonido es transmitido desde el tímpano del oído por tres huesos pequeños, interconectados a la ventana oval que separa el oído medio, del interno.

Las vibraciones acústicas tienen dos dimensiones: la amplitud sonora, que es función de la presión del sonido y se mide en decibeles, y la frecuencia, que se expresa en Hertz.

El estudio sensorial se basa en dos tipos de pruebas: analíticas, en las cuales un grupo de jueces entrenados describe la información del producto, cuantifica

diferencias o discrimina productos utilizando sus sentidos como instrumentos; así como pruebas afectivas, donde se mide la respuesta de agrado o preferencia de algún consumidor.

#### 1.4.3 Análisis Descriptivo

El análisis descriptivo es una metodología sensorial que proporciona descripciones cuantitativas de los productos obtenidos a partir de las percepciones de un grupo de sujetos calificados. Es una descripción sensorial completa, que tiene en cuenta todas las sensaciones que se perciben: visual, auditiva, olfativa, kinestésica, etc., cuando el producto se evalúa. La palabra "producto" se utiliza aquí en el sentido figurado; el producto puede ser una idea o concepto, un ingrediente, un prototipo, o un producto terminado, como aquellos adquiridos y utilizados por el consumidor. La evaluación puede ser total, o sea, antes, durante, y después de su uso, es decir, la evaluación de un alimento se inicia desde la apertura del paquete y prosigue a través del consumo [Stone et al., 2012].

Alternativamente, la evaluación puede centrarse en sólo un aspecto, o bien, puede definirse en parte, por las características del producto, determinadas por los sujetos evaluadores, y en parte, por la naturaleza del problema a resolver mediante esta evaluación.

Todos los métodos de análisis descriptivo se basan en los principales procesos de selección de jueces; el número de jueces; la duración y el tipo de formación, incluyendo el desarrollo del lenguaje descriptivo (para la gama de productos que están siendo evaluados); los juicios de intensidad; el análisis de datos; rendimiento por juez; y demás cuestiones.

El proceso de montaje de un análisis descriptivo [Severiano et al., 2013] consiste en generar un panel de jueces entrenados para que desarrollen su habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial como sabor o textura del que tengan conocimiento, por cierta enseñanza teórica y práctica acerca de la evaluación

sensorial y que entiendan exactamente lo que se desea medir en cada prueba, realizando estas con cierta periodicidad.

Además, debe utilizarse la escala correcta para su realización, es decir, asignar un valor que indique la intensidad de una respuesta, basándose en el tipo de escala que se utilice y conociendo a detalle, los puntos extremos e intermedios de la escala. En estos métodos el juez no considera su preferencia personal, sino que evalúa el producto de acuerdo a su conocimiento previo, utilizando su facultad de discriminar al analizarlo.

Una prueba descriptiva consiste en un procedimiento realizado a un pequeño panel; que se basa en las respuestas de 6 a 20 jueces, siendo lo más frecuente, utilizar 10 o 12. El menor número (6 jueces) corresponde generalmente a un panel de sabor. En la generación de datos y análisis de resultados se tienen en cuenta todas las percepciones para producir un solo juicio, la prueba descriptiva requiere que cada juez emita un juicio para obtener una frecuencia repetida de todos los atributos de un producto.

#### 1.4.4 Perfil flash

El análisis de perfil flash (PF) [Dairou & Sieffermann, 2002] es un método descriptivo simple basado en la libre elección de atributos por parte de los jueces, es decir cada juez puede definir sus propios atributos, lo que se combina con un ordenamiento para generar términos sensoriales mediante una evaluación comparativa simultánea de las muestras, y una cuantificación por ordenamiento de cada atributo. El PF es un método flexible diseñado para caracterizar rápidamente los productos, de acuerdo a los atributos sobresalientes, donde no se requiere el uso de jueces entrenados, debido a que el uso de la escala ordinal es intuitivo.

Este análisis se suele realizar en dos sesiones: en la primera, se generan descriptores que los jueces consideren apropiados para discriminar las muestras. En la segunda sesión, se ordenan las muestras hacia valores “bajos” o “altos” para cada atributo, permitiendo empates.

El PF se lleva a cabo con un panel de jueces entrenados o semi-entrenados, usualmente de seis a doce personas. La evaluación simultánea de las muestras permite una mejor discriminación del producto, los perfiles flash pueden generar mayor discriminación de productos que un perfil convencional [Varela & Ares, 2012].

#### 1.4.5 Pruebas afectivas

Las pruebas afectivas se refieren a la medición de gusto o preferencia por un producto. Esto se relaciona con la sensación emocional que experimenta el consumidor en la evaluación espontánea del producto, expresando su preferencia en ausencia completa de influencia externa y de entrenamiento.

La preferencia es la expresión del atractivo de un producto frente a otro. La preferencia puede medirse directamente por comparación de dos o más productos. Es decir, que se opta por uno de dos o más productos. Una medición indirecta de la preferencia se logra mediante la determinación del análisis estadístico, en el que un producto presenta una puntuación significativamente más alta (presenta un mayor nivel de agrado) que otro producto, en una prueba multi-producto.

Existe una relación evidente entre medir el nivel de agrado de un producto y su aceptación y preferencia. Para ser más eficiente, la ciencia sensorial debe hacer hincapié en la medición del nivel de agrado del producto/aceptación y, a partir de estos datos, determinar indirectamente la preferencia, mediante escalas que permitan la cuantificación de estos datos.

Para llevar a cabo una prueba afectiva, se necesita generar una muestra representativa de una población, sobre la cual sea posible generar una conclusión. Al muestrear una población, se deben considerar aspectos tales como: el segmento de población al que el producto se dirige; durante el reclutamiento de consumidores que participen en la prueba, se realizan filtros de edad, sexo, nivel socioeconómico, localización geográfica, raza, religión, educación, empleo, entre otros [Pangborn et al., 1965].

Las pruebas sensoriales [Rosas, 2008] se pueden dividir entre pruebas cualitativas y cuantitativas. Las primeras consisten en la medición de la respuesta subjetiva del consumidor hacia conceptos, propiedades sensoriales de los productos y servicios. En este tipo de prueba el participante expone sus percepciones, sensaciones y sentimientos en una entrevista o en un grupo pequeño, donde un entrevistador/moderador dirige las sesiones, realiza un sondeo para finalmente resumir, analizar y reportar las conclusiones.

Las segundas son aquellas pruebas en las cuales se determinan las respuestas de un grupo mayor de consumidores, para obtener información sobre el mercado de consumo: preferencias y necesidades de los consumidores y sus actitudes ante un producto nuevo o un producto de características modificadas.

Las entrevistas que se realizan generalmente son monádicas y secuenciales, es decir, se presenta una muestra y se evalúa en la totalidad de sus atributos a través de un cuestionario. Al terminar con la muestra, se presenta la siguiente y se evalúa de la misma manera y así sucesivamente hasta terminar con todas las muestras [Rosas, 2008].

#### 1.4.6 Escala hedónica

Para la medición del agrado de un producto y su preferencia, la escala hedónica, es probablemente la escala sensorial más útil. Desde su desarrollo [Jones et al., 1955; Peryam & Haynes, 1957], se ha utilizado ampliamente con una amplia variedad de productos, con un éxito considerable. La escala es fácilmente comprensible para los consumidores, por lo que requiere un mínimo de instrucción. Los resultados han demostrado que es notablemente estable, y las diferencias de productos evaluados, nivel de agrado, son reproducibles con diferentes grupos de sujetos.

Por ello la escala hedónica es ampliamente utilizada. Estudios diseñados para comparar el método de estimación de la magnitud con la escala hedónica [Moskowitz & Sidel, 1971; Warren et al., 1982], de forma independiente, concluyen que la estimación de magnitudes no reportó una sensibilidad superior respecto a las diferencias significativas.

La escala tiene 9 puntos (Tabla 8), pero a veces se considera demasiado extensa, por lo que se suele acortar a 7 ó 5 puntos. Es importante mencionar que la escala está balanceada, es decir presenta la misma cantidad de puntos negativos y positivos.

**Tabla 8. Puntos de la escala hedónica.**

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

La representación gráfica de la escala se utiliza cuando se tiene un gran número de puntos y se presenta dificultad para entender cada punto o cuando el grupo está conformado por niños o por personas adultas con dificultades para leer o para concentrarse. Los resultados obtenidos a través de esta prueba, aplicados a una población adulta, no son muy confiables, ya que les resulta infantil.

El análisis estadístico se realiza con el análisis de varianza (ANOVA) clásico o por el método de los rangos de Tukey. Cuando se trata de dos muestras se pueden comparar las puntuaciones totales mediante una comparación t-Student.



## 1.5 Reología

La reología es la disciplina científica encargada del estudio de la deformación y flujo de la materia, desde gases hasta sólidos [Rojas et al., 2012]. Del griego *reos* fluir y *logos* tratado o estudio. Este campo está dominado por la investigación sobre el comportamiento de flujo de materiales complejos, tales como polímeros, alimentos, sistemas biológicos, pastas, suspensiones, emulsiones y otros compuestos, incluyendo relaciones entre esfuerzo y deformación para estos materiales, los cuales difieren de la ley de Newton, en la que se describe el comportamiento de cizalla para líquidos no viscoelásticos, su elasticidad y deformación). El campo de la reología se extiende desde la mecánica de los fluidos Newtonianos hasta la deformación de los sólidos y el comportamiento elástico de la ley de Hooke.

En concreto, analiza la relación existente entre las variables: esfuerzo ( $\sigma$ ), deformación producida ( $\gamma$ ), gradiente de velocidad o velocidad de deformación ( $\frac{d\gamma}{dx} = \dot{\gamma}$ ) y tiempo ( $t$ ). Dependiendo de cómo sea esta relación, los materiales presentan comportamientos reológicos diferentes [Maestro, 2002].

### 1.5.1 Objetivos y aplicaciones de la reología

Los objetivos de la reología consisten en:

- ▶ Caracterizar la materia y definir sus parámetros reológicos, como: viscosidad, consistencia y propiedades elásticas.
- ▶ Diseñar equipos sofisticados de procesamiento industrial, conociendo previamente la caracterización de la materia a procesar.
- ▶ Diseñar materiales nuevos con respuestas mecánicas muy específicas y bien definidas, entre muchas otras acciones.
- ▶ Predecir el comportamiento macroscópico del fluido, bajo condiciones de proceso, para lo cual se hace uso de las relaciones constitutivas y de las funciones materiales.
- ▶ Estudiar de manera indirecta la microestructura del fluido y evaluar el efecto de varios factores sobre dicha microestructura. Para esto se comparan las funciones materiales o propiedades reológicas.

Algunas aplicaciones de esta disciplina se enlistan a continuación:

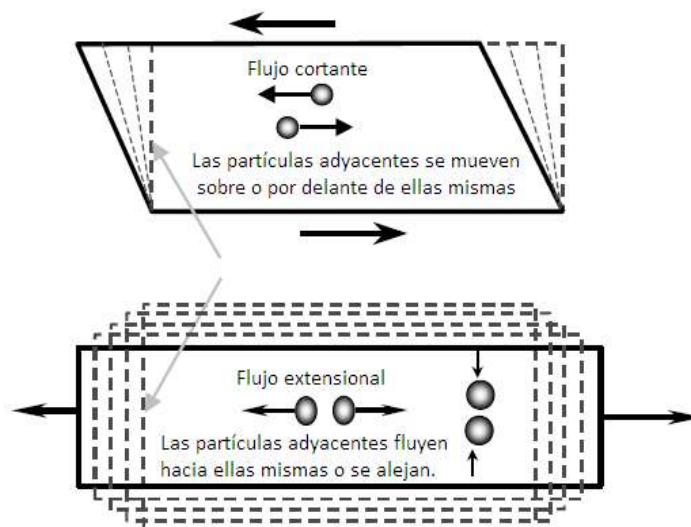
- ▶ Predecir respuestas de materiales y fluidos en desempeños mecánicos complejos de la vida práctica, desde el de una prótesis, para saber si es mecánicamente compatible, hasta la respuesta de un compuesto industrial, tal como una pintura, una fibra textil o un adhesivo.
- ▶ Generar el perfil de textura adecuado para alimentos, desde la dureza, grado de gelatinización de almidones, extensibilidad de la masa de pan, hasta la medición de viscosidad de mezclas para mejorar los rendimientos de helados, así como en el desarrollo de productos grasos y viscosos que requieran una consistencia específica, tales como aderezos o sopas y bebidas como néctar clarificado.
- ▶ Formular productos personales con la viscosidad adecuada para verterse sobre las manos y transferirse al cuerpo sin fluir a través de los dedos.
- ▶ Generar pinturas tixotrópicas o pinturas sólidas, es decir fluidos que parecen ser sólidos después de almacenar, pero que al llevar a cabo su uso o agitar el material, este se fluidiza para volver a espesarse al ser colocado.
- ▶ Crear tinta para bolígrafos y plumas de bola rodante, con una viscosidad baja, de manera que pueda ser dispensada adecuadamente, a través del mecanismo de bola rodante de alta cizalla-velocidad. Sin embargo, que cuando la tinta se asiente en la superficie de escritura, su viscosidad sea lo suficientemente alta para evitar su propagación más allá de lo necesario.
- ▶ Diagnosticar patologías caracterizando fluidos biológicos en el contexto de la biorreología (cualquier materia o sustancia del organismo humano, animal o vegetal) y de la hemorreología (para diagnosticar enfermedades en la sangre).

#### 1.5.2 Flujo, esfuerzo y viscosidad

Los átomos, moléculas o partículas se dispersan o sucumben a un cambio de posición, ante la alteración irreversible de su forma por acción de fuerzas externas anisotrópicas o por la fuerza de gravedad (flujo de materia), sin que exista un

esfuerzo mínimo de deformación (umbral de fluencia): la energía gastada experimenta una disipación.

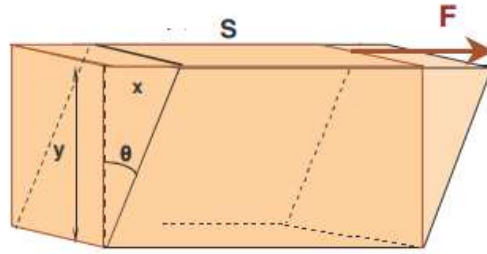
El flujo, en procesos reales, es un mecanismo muy complejo que involucra tres dimensiones, bajo condiciones no isotérmicas y no estacionarias. Hay dos tipos básicos de flujo causado por el movimiento relativo de las partículas adyacentes de un líquido; se les llama: flujo cortante o de cizalla y flujo extensional o de elongación. En el flujo cortante, los elementos del líquido fluyen sobre o por delante de sus propios elementos, mientras que en el flujo extensional, los elementos adyacentes fluyen hacia ellos mismos o se alejan de su entorno (Figura 12) [Barnes, 2000].



**Figura 12. Movimiento de partículas en flujo cortante y extensional [Barnes, 2010].**

### 1.5.3 Esfuerzo de cizalla y velocidad de deformación

La cizalladura o cizalla es una deformación debida a la aplicación de una fuerza tangencial en una cara paralela. Esta fuerza tangencial, por unidad de área, se conoce como esfuerzo cortante o de cizalla. Se trata de una expresión exterior de la fuerza de restauración, desarrollada mediante el estiramiento de los enlaces interatómicos que sujetan el material [Rosenthal, 2001]. Es importante resaltar que la diferencia entre presión y esfuerzo de cizalla, consiste en que en el primero, la fuerza es perpendicular a la superficie, mientras que en el segundo, la fuerza es tangencial a la superficie (Fig. 13).



**Figura 13. Representación esquemática del desplazamiento causado por el esfuerzo de cizalla. Donde “F” representa la fuerza aplicada, “S” el tamaño del material, “y” la altura del material, y “x” el desplazamiento en la parte superior. Se aprecia un desplazamiento de paralelepípedo oblicuo [Hernández, 2012].**

La deformación obtenida se mide de acuerdo a ambas cantidades del desplazamiento “x” y la altura “y”. Esta relación es denominada deformación relativa o «strain» ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{x}{y}$$

Para deformaciones muy pequeñas, este valor coincide con el ángulo  $\theta$ , que es un buen indicador de la inclinación. Esta deformación relativa es adimensional, ya que es el cociente de dos longitudes.

$$\gamma = \tan \theta = \theta$$

A diferencia de la elasticidad, la viscosidad tiene como implicación, que el desplazamiento sigue aumentando mientras se aplica la fuerza y no se recuperará al suspenderla. Aplicar más o menos fuerza tendrá consecuencias sobre la variación temporal de la deformación relativa, es decir, sobre la velocidad de deformación, lo cual se representa con la siguiente ecuación.

$$\dot{\gamma} = \frac{\gamma}{t}$$

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación [ $s^{-1}$ ]

$\gamma$  = deformación relativa (adimensional)

t = tiempo [s]

Si la velocidad de deformación es alta (fracciones de segundo), entonces las moléculas del polímero registran una rigidez elevada, ya que no tienen tiempo para fluir o ajustar su forma. Si la velocidad es baja, entonces el polímero fluye con la deformación externa y registra una rigidez más baja.

#### 1.5.4 Viscosidad

Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte por muy pequeño que sea, por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Para el caso de los líquidos se requieren diferentes esfuerzos de cizalla, para permitir que las moléculas de una capa pasen a otra, a cierta velocidad. La relación entre el esfuerzo de cizalla requerido para inducir una determinada velocidad de deformación en cizalla, caracteriza el comportamiento reológico de un fluido.

La viscosidad es la medida de la resistencia que un fluido brinda a su deformación, debido a la cohesión, e interacción de las partículas, la cual relaciona el esfuerzo de cizalla con la velocidad de deformación. La viscosidad de acuerdo a la Ley de Newton, queda descrita por la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$$

$\mu$  = viscosidad [Pa · s]

$\sigma$  = esfuerzo de cizalla [Pa]

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación [ $s^{-1}$ ]

Las unidades de viscosidad más utilizadas son los pascales por segundo [Pa · s] o milipascales por segundo [mPa · s]. Además, el sistema cegesimal aún se sigue usando, siendo la unidad de medida, el centiPoise [cP], donde:

$$1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ g/cm} \cdot \text{s}$$

De acuerdo a la literatura [Ramírez, 2006] se pueden distinguir tres tipos de viscosidad:

- ▶ **Viscosidad newtoniana ( $\mu$ ):** Se refiere a la pendiente en cada punto de la curva de flujo (esfuerzo de cizalla vs velocidad de deformación).
- ▶ **Viscosidad aparente ( $\eta$ ):** Se refiere al cociente entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de deformación, aplicado a fluidos que no cumplen con la ley de Newton. Es decir, la pendiente de la curva de flujo desde el origen de la curva.
- ▶ **Viscosidad cinemática ( $\nu$ ):** Es un parámetro que relaciona la viscosidad newtoniana con la densidad del fluido utilizado. Las unidades más utilizadas para esta viscosidad son los centistokes [cst], es decir, el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad de un fluido.

#### 1.5.5 Tipos de comportamiento de los fluidos

Existen tres tipos de comportamiento de los fluidos:

- ▶ **Newtonianos:** Estos fluidos presentan una proporcionalidad en la relación de esfuerzo de cizalla y velocidad de deformación (pendiente de la curva de flujo), de manera que la viscosidad es constante en todo el intervalo de valores de velocidad de deformación (Fig. 14), siendo un valor característico del líquido. Es decir, se cumple la ley de Newton descrita anteriormente.

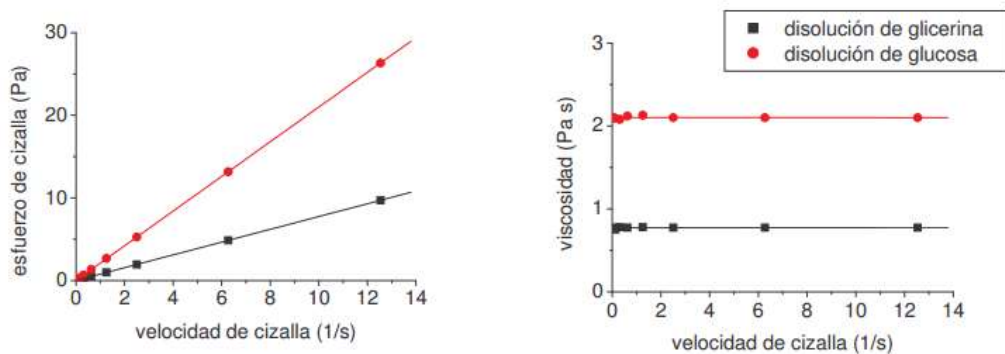


Figura 14. Ejemplos de curva de flujo para dos fluidos newtonianos: jarabe de maíz hidrolizado (glucosa) y glicerina. Se aprecia la proporcionalidad de la pendiente para la curva de esfuerzo de cizalla vs velocidad de deformación o cizalla (derecha) y el valor de viscosidad constante a lo largo de toda la gráfica (izquierda) [Ramírez, 2006].

- ▶ **No Newtonianos:** Los fluidos no newtonianos son aquellos cuya relación de esfuerzo de cizalla y velocidad no es lineal, por lo que la viscosidad no es un parámetro sino una función dependiente de la velocidad de cizalla (Fig. 14). A su vez los fluidos no newtonianos se pueden dividir en independientes o dependientes del tiempo de aplicación.

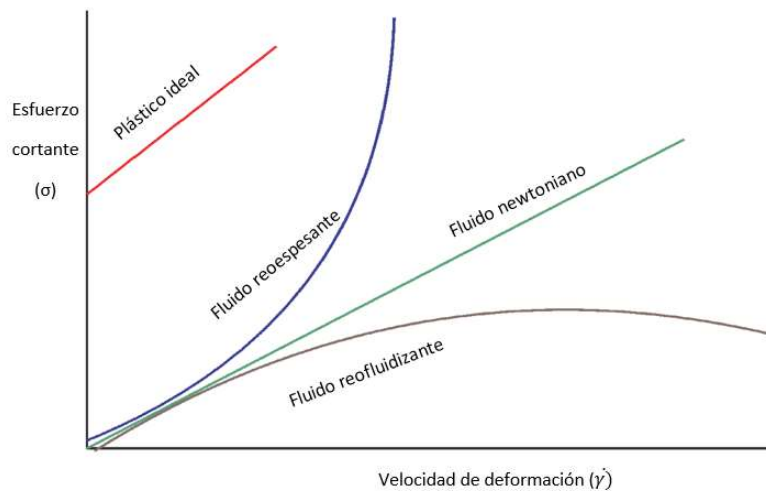


Figura 15 . Curvas de flujo para distintos tipos de fluidos [Hernández, 2012].

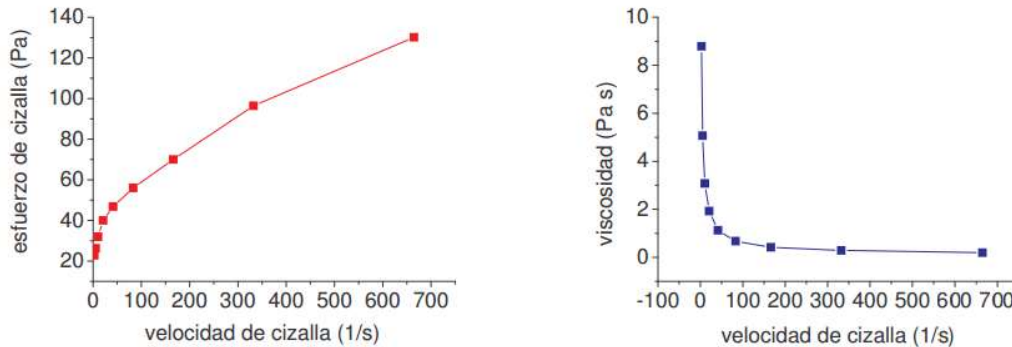
- ▶ **Viscoelásticos:** Se refiere a aquellos fluidos que se comportan como sólidos y como líquidos, presentando propiedades de ambos. Es decir, a diferencia de un fluido inelástico, la energía de deformación no se disipa totalmente y puede recuperarse, como si se tratara de un sólido elástico. La forma más usual de medir la viscoelasticidad es mediante el uso del módulo de almacenamiento,  $G'$  «storage modulus», y del módulo de pérdida,  $G''$  «loss modulus».

El módulo de almacenamiento,  $G'$  está relacionado con el comportamiento elástico del material, de manera que en un sólido ideal ambos módulos coinciden, ya que la energía se conserva y se retorna a la posición inicial. Sin embargo, en el caso de un fluido, la viscosidad se relaciona con el rozamiento entre las capas internas del fluido, lo que implica una disipación de energía, donde no es posible volver al estado inicial, y por eso se obtiene un módulo de pérdida, que se relaciona proporcionalmente a la viscosidad.

### 1.5.6 Fluidos reofluidizantes y reoespesantes

En los fluidos no newtonianos independientes del tiempo, los esfuerzos tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación. A su vez, se pueden clasificar en fluidos sin esfuerzo umbral o con esfuerzo umbral; es decir, si necesitan un valor mínimo de esfuerzo de cizalla para que el fluido se ponga en movimiento.

Los fluidos sin esfuerzo umbral, se dividen en reofluidizantes o reoespesantes [Rojas et al., 2012]. Si la viscosidad y el esfuerzo de corte disminuyen al aumentar la velocidad de cizalla, se trata de un fluido reofluidizante (Figura 16), término que a diferencia de pseudoplástico da una idea más real del comportamiento del fluido.



**Figura 16. Ejemplos de curva de flujo para un fluido reofluidizante (cátsup) Se aprecia la curva de esfuerzo de cizalla vs velocidad de deformación o cizalla (derecha) y la caída de viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla (izquierda) [Hernández, 2012].**

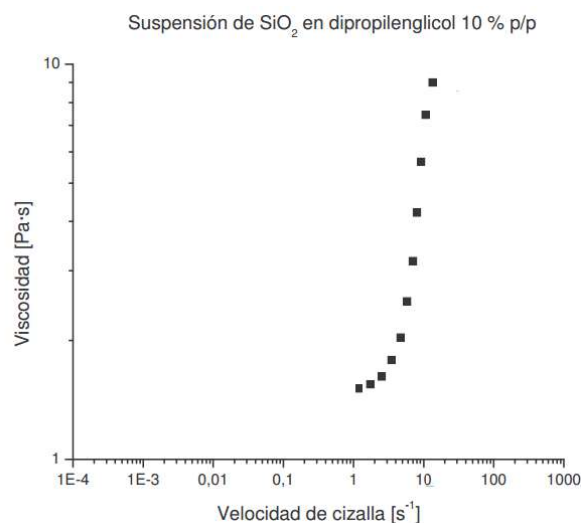
Este comportamiento se debe a las interacciones moleculares. En reposo, las moléculas poliméricas se encuentran en un estado aleatorio de “equilibrio”, es decir la movilidad térmica de las cadenas produce la simultánea desaparición y formación de interacciones entre las mismas, dando un resultado neto nulo; cuando comienza a actuar un esfuerzo de cizalla sobre el fluido se produce una mayor destrucción de las interacciones entre las cadenas poliméricas, pero la movilidad térmica es capaz de compensarlas creándolas por otra parte, dando lugar a cambios apenas observables en la viscosidad del fluido. Sin embargo, si se continúa aumentando el esfuerzo de cizalla, se puede alcanzar un momento a partir del cual se destruyen más interacciones de las que se crean, dando lugar a una pérdida de la estructura



presente; por otra parte, se puede producir también un desenmarañamiento y una alineación de las cadenas poliméricas, que produce una mayor separación entre ellas siendo el resultado neto de ambos efectos un descenso en la viscosidad del fluido nulo [Beltrán & Marcilla, 2012].

En cambio, si la viscosidad y el esfuerzo de corte aumentan al incrementar la velocidad de cizalla, se trata de un fluido reoespesante, denominado anteriormente dilatante (Fig. 17). Este fenómeno se produce debido a la fase dispersa del fluido. En dicho fluido tiene lugar un empaquetamiento de las partículas.

A bajas velocidades de cizalla, la fricción entre las partículas es relativamente baja, porque el líquido actúa como lubricante. Al aumentar la velocidad de cizalla, el movimiento de unas partículas respecto a las otras, incrementa el espacio entre ellas y la fase líquida deja de ocuparlo totalmente. Esto causa un progresivo incremento de la fricción entre las partículas como consecuencia de una lubricación insuficiente.



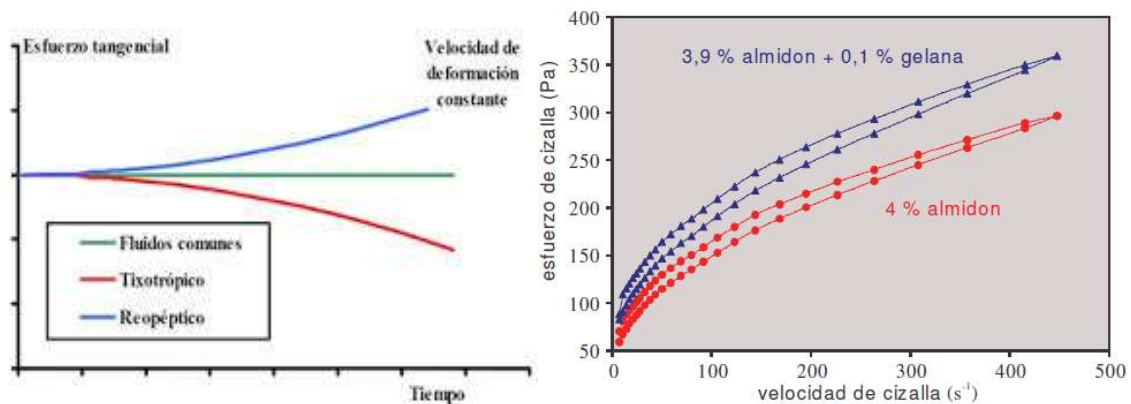
**Figura 17. Ejemplos de curva de flujo para un fluido reoespesante (suspensión de SiO<sub>2</sub> en dipropilenglicol al 10%). Se aprecia el cambio de viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla (izquierda) [Hernández, 2012].**

### 1.5.7 Fluidos tixotrópicos y anti tixotrópicos

Los fluidos no newtonianos, dependientes del tiempo de aplicación, se pueden dividir en tixotrópicos, en los que su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de

aplicación del esfuerzo de cizalla, recuperando su estado inicial, después de un reposo prolongado; por ejemplo, yogurt, tintas de impresión y cátsup o en anti tixotrópicos, aquellos en los cuales la viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior, tras un tiempo de reposo; por ejemplo, la pasta de yeso [Rojas et al., 2012].

La principal razón para la disminución de la viscosidad del sistema, debido al aumento de la velocidad de cizalla en un fluido tixotrópico, es la disminución de la disipación de energía. Este fenómeno ocurre cuando las partículas suspendidas, que forman una red relativamente débil frente a una deformación, son sometidas a un esfuerzo de cizalla, por lo que tienden a desagregarse y romper sus enlaces, a medida que el esfuerzo tangencial creciente se somete a un valor máximo, el cual se disminuye continuamente hasta una velocidad de deformación igual a cero (ciclo de histéresis).



**Figura 18. Ejemplos de curva de flujo para fluidos dependientes del tiempo de aplicación a velocidad de deformación constante (izquierda). Ciclo de histéresis para mayonesas formuladas con almidón y gelana (derecha) [Hernández, 2012].**

### 1.5.8 Ley de Potencia

Un modelo de flujo puede ser considerado como una ecuación matemática que puede describir datos reológicos, tales como la velocidad de cizallamiento frente al esfuerzo de cizallamiento, en un diagrama básico de cizallamiento, y que, por lo tanto, proporciona una manera conveniente y concisa de describir los datos obtenidos. Existen tres tipos de modelos de flujo: teóricos, empíricos y estructurales [Rao, 2014].

La Ley de Potencia es un modelo de flujo empírico, en el cual las curvas de flujo: de esfuerzo de cizalla y de velocidad de deformación se vuelven lineales, cuando se representan en dobles coordenadas logarítmicas. La función que describe el modelo está descrita de la siguiente forma:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n$$

$\sigma$  = esfuerzo de cizalla[Pa]

$K$  = coeficiente de consistencia[Pa · s<sup>n</sup>]

$\dot{\gamma}$  = velocidad de deformación[s<sup>-1</sup>]

$n$  = índice de comportamiento de flujo (adimensional)

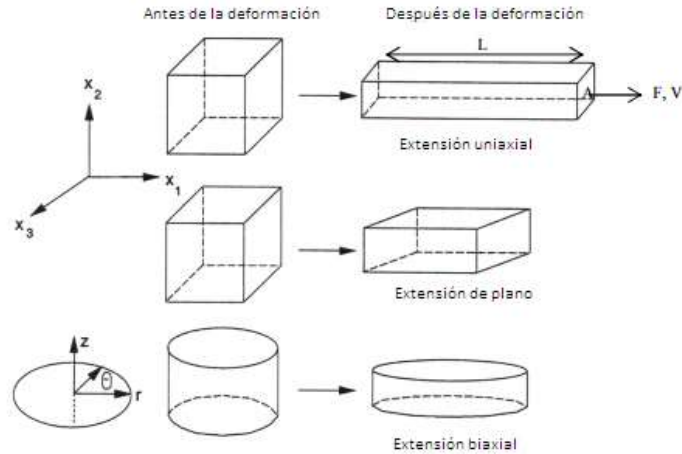
Donde  $K$  es el esfuerzo de cizalla a una velocidad de deformación de 1 s<sup>-1</sup> y el exponente  $n$ , que es el índice de comportamiento de flujo, es adimensional y refleja la cercanía al flujo newtoniano.

Para el caso especial de un fluido newtoniano ( $n = 1$ ), el índice de consistencia  $K$  es idénticamente igual a la viscosidad del fluido,  $\eta$ . Cuando la magnitud de  $n$  es  $<1$ , el fluido tiene comportamiento reofluidizante, y cuando la magnitud de  $n$  es  $>1$ , el fluido tiene comportamiento reoespesante.

### 1.5.9 Reología Extensional

Además de la respuesta al cizallamiento, la respuesta a un flujo extensional es un parámetro importante a determinar. El flujo extensional consiste en el sometimiento a un esfuerzo de elongación o compresión normal. La diferencia entre cizallamiento y flujo extensional, consiste en que el cizallamiento tiene un efecto muy pequeño en la alineación de las partículas en comparación con el flujo extensional que alinea las partículas como fibras de manera rápida y eficiente. [Lubansky, 2011].

Existen tres tipos de flujo extensional (o elongacional) (Figura 19):



**Figura 19. Tipos de flujo extensional [Barnes, 2010].**

- ▶ **Uniaxial:** En este flujo, el material se somete a esfuerzos normales en una sola dirección, en los ejes restantes experimenta una contracción.
- ▶ **Biaxial:** El material se expone a esfuerzos normales en dos direcciones, en el eje restante sufre una contracción.
- ▶ **Plano:** El material se somete a esfuerzos normales en una dirección, manteniendo sus dimensiones en una segunda dirección, en el eje restante sufre una contracción.

A diferencia de la reometría de cizalla, la reometría extensional es una prueba inherentemente transitoria: mientras que un fluido puede ser cizallado por tiempo indefinido, un fluido sólo puede ser extendido durante cierto tiempo, es decir, hasta que se vuelve suficientemente delgado y se rompe.

Cuando un líquido se coloca entre dos placas, que son separadas de una manera controlada para alargar un filamento del fluido, los cambios en la longitud en la que el filamento se romperá están fuertemente determinados por los cambios en la viscosidad extensional ( $\eta_{\dot{\epsilon}}$ ), función de la velocidad de deformación extensional ( $\dot{\epsilon}$ ).

El principal problema de la medida de la viscosidad extensional, es el hecho de que resulta imposible alcanzar el estado estacionario de equilibrio. En 1906, Trouton generó una ecuación que relaciona la viscosidad extensional con la viscosidad de cizalla para fluidos newtonianos, la relación obtenida es:

$$\eta_{\varepsilon} = 3\mu$$

Para fluidos no newtonianos, se suele comparar el cociente de Trouton que da la relación entre la viscosidad extensional y la de cizalla. Las partículas fibrosas o polímeros flexibles de alto peso molecular presentan valores elevados.

#### 1.5.10 Reometría

La reometría es la parte de la reología encargada de realizar determinaciones cuantitativas de las propiedades reológicas de un sistema, de manera experimental, haciendo uso de distintos tipos de instrumentos de medición denominados reómetros o viscosímetros.

Un reómetro se refiere a un dispositivo que pueda medir la viscosidad y la tensión de producción de un material (esfuerzo umbral) a diferentes velocidades de cizalla, mientras que el viscosímetro puede medir solamente la viscosidad a una velocidad de cizalla fija. El reómetro es capaz de generar diferentes velocidades de cizalla con el fin de generar un reograma, en cambio, el viscosímetro siempre trabaja con igual velocidad de cizalla [González, 2009].

- **Cilindros concéntricos:** Estos viscosímetros constan de dos cilindros concéntricos, uno exterior hueco y otro interior macizo. El fluido se coloca entre los dos cilindros. Este tipo de instrumentos puede realizar las mediciones de dos formas: haciendo girar uno de los elementos con un cierto par de fuerzas y midiendo la velocidad de giro provocada o provocando una velocidad de giro en uno de los elementos y midiendo el par de fuerzas opuesto [Val et al., 2005].

Además tienen un flujo definido, con pequeños espacios anulares y presentan una mayor sensibilidad a materiales poco viscosos, que otros sistemas. Sin embargo, son inadecuados para partículas sólidas, debido a su espacio estrecho [Miri, 2011].

- ▶ **Cilindros rotatorios:** El funcionamiento de un reómetro rotacional se basa en la resistencia a la torsión que ofrece un líquido al giro de un disco de características conocidas, sumergido en dicho líquido. El ángulo de desviación del eje se mide electrónicamente, dando la medida de torsión. Los reómetros rotatorios son convenientes para la medida de viscosidades altas, y permiten los ajustes de la velocidad de cizalla de manera sencilla.
- ▶ **Cono plato y plato-plato rotatorio:** Este instrumento consta de un cono giratorio y un plato sostenido por una barra de torsión o un resorte, del cual se conocen las propiedades. El fluido es sometido a un esfuerzo de corte entre una placa plana y un cono de ángulo pequeño. Para generar el corte, se puede controlar la velocidad de deformación o el esfuerzo de corte [Val et al., 2005].

Una de las principales ventajas de este instrumento es que requiere de un volumen pequeño de muestra y es fácil de limpiar, además la velocidad de corte aplicada es uniforme para toda la muestra.

- ▶ **Viscosímetro de paletas o vane:** Un viscosímetro de paletas o vane consiste en una sonda compuesta por paletas (típicamente 4 o 6) unidas a un eje e inmersas en una muestra de fluido. La sonda se rota a velocidad angular constante y se mide el torque ejercido sobre el eje.

La principal desventaja de este instrumento es que su flujo no está definido; por lo tanto sólo realiza análisis aproximados de fluidos no newtonianos que dependen del método de calibración.

- ▶ **Tubo capilar:** Este viscosímetro consiste esencialmente de un recipiente que contiene la muestra y un tubo capilar por el que se hace fluir la muestra, aplicando una diferencia de presión. Este viscosímetro permite la caracterización a altas velocidades de corte, por otra parte el flujo puede ser generado a presión constante o a velocidad de deformación cortante.

Una de las ventajas del viscosímetro de tubo capilar es su sensibilidad a materiales de alta viscosidad, además puede alcanzar velocidades de corte elevadas. Su principal desventaja, es que el control de temperatura es difícil de realizar, por lo tanto, crea análisis aproximados de sistemas no newtonianos.

## Capítulo 2

# Materiales y Metodología



## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Las muestras de fécula de maíz y fécula de maíz para preparar atole consistieron en productos comerciales, pues su elaboración requiere un estricto control de calidad y asegura muestras estandarizadas (mismo lote: 0329A02) para evitar variaciones por parámetros que no se pudieran controlar dentro del laboratorio.

Las etiquetas de la fécula de maíz empleada, se mostraron en el capítulo 1 (Sección 1.2.3 y 1.2.4). En la Tabla 9, se muestra la composición de las matrices base utilizadas de acuerdo a la información nutrimental mostrada en su etiqueta. La preparación de las muestras se describe en el Anexo 1.

**Tabla 9. Composición porcentual de las matrices base tipo lácteas utilizadas.**

Composición	Leche Light (%)	Bebida de soya (%)	Leche Deslactosada (%)
Marca	Lala®	Ades®	Lala®
Sodio (mg)	46.4	199	46.4
Carbohidratos	4.8	2.35	4.8
Proteínas	3.12	3.25	3.12
Grasas	1	2.2	1.6
Calorías kJ (kcal)	172 (41)	176.5 (42)	194 (46)

**Tabla 10. Composición porcentual de las matrices base tipo agua utilizadas.**

Composición	Agua (%)	Agua de Jamaica (%)	Agua de Jamaica c/ az. (%)	Bebida de jugo de manzana (%)
Marca	N/A	Tang®	Tang®	Beberé®
Sodio (mg)	4	4	4	18
Carbohidratos	0	0.36	2.36	2
Proteínas	0	0	0	0
Grasas	0	0	0	0
Calorías kJ (kcal)	0 (0)	5.62 (1.44)	45.5 (9.44)	34 (8)

El medio de contraste Varibar® fue utilizado como referencia, ya que es un producto estandarizado (40% m/v BaSO<sub>4</sub>) y diseñado exclusivamente para el diagnóstico de disfagia, que no necesita prepararse y se formula de acuerdo a las consistencias

establecidas por la ADA, asegurando uniformidad de resultados al utilizarse en el diagnóstico de disfagia.

El medio se compone de: Sulfato de bario, carboximetilcelulosa de sodio, ácido cítrico, glicerina, polisorbato 80, sorbato de potasio, agua purificada, sacarina de sodio, emulsión de simeticona, benzoato de sodio, citrato de sodio, almidón modificado (de maíz), goma de xantana y xilitol. [Tomado de: <http://www.drugs.com/pro/varibar-honey.html>]

## 2.2 Equipo

- ▶ Reómetro de esfuerzo controlado (Anton Paar Physica MCR101) con una configuración plato-plato (PP) de 50 mm de diámetro y un gap de 1 mm.
- ▶ Reómetro de orificio de bomba de lóbulos de contracción semi-hiperbólica (CCADET-UNAM) con reducción de salida 1:8 y 1:4.
- ▶ Panel de evaluación de Perfil Flash.

## 2.3 Metodología

### 2.3.1 Estrategia

El enfoque del proyecto contempló una caracterización de viscosidad de corte de tres matrices base (leche light, agua y bebida de soya) espesadas con fécula de maíz fortificada marca Maizena® (Tabla 11) para generar un acercamiento que permitiera determinar la concentración del producto de fécula de maíz para preparar atole usando seis diferentes productos. Dicha concentración debió generar un producto seguro (análisis reológico de la deglución) para posteriormente aplicar fécula de maíz para preparar atole fortificado a tres matrices base lácteas (Tabla 12) y fécula de maíz para una matriz base agua (Tabla 13). En los casos en los que no se halló la concentración adecuada dentro de estos diseños, se realizó una aproximación para asemejarse al comportamiento de los productos de referencia.

Al establecer dichas concentraciones, se realizó un análisis sensorial descriptivo y posteriormente hedónico para las muestras que cumplieron los criterios anteriores. Finalmente se realizó un estudio reológico completo (corte, extensional y dinámica)

y se comparó el comportamiento de los productos con dos consistencias referencia de medios de contraste Varibar®: miel y pudín.

### 2.3.2 Desarrollo Experimental

**Tabla 11. Concentraciones de fécula de maíz utilizadas para las pruebas iniciales con FM.**

Matriz	Marca	Conc FM (%)	Conc FM (%)	Conc FM (%)
Leche light	Lala®	1	4.5	7
Bebida de soya	Ades®	1	4.5	7
Agua	N/A	1	4.5	7

**Tabla 12. Productos de atole utilizados para las matrices tipo lácteas espesadas con FM 4.5% .**

Matriz/Producto	Klass	Klass	Maizena	Maizena	Maizena	Maizena
Bebida de soya	Sabor Chocolate	Sabor Arroz con leche	Sabor Vainilla 1	Sabor Nuez	Sabor Fresa	Sabor Vainilla 2*
Leche light						
Leche deslactosada						
% Carbohidratos**	77.78	77.78	91.48	87.99	93.61	85.09
% de producto (%m/v)	5.785	5.785	4.92	5.114	4.807	5.288

\*El sabor vainilla 2, se refiere al producto en su presentación anterior, donde el porcentaje de carbohidratos (almidón de maíz) del producto es modificado.

\*\*El valor de % Carbohidratos fue calculado de acuerdo a la información nutrimental

**Tabla 13. Concentraciones de fécula de maíz utilizadas para las matrices base agua.**

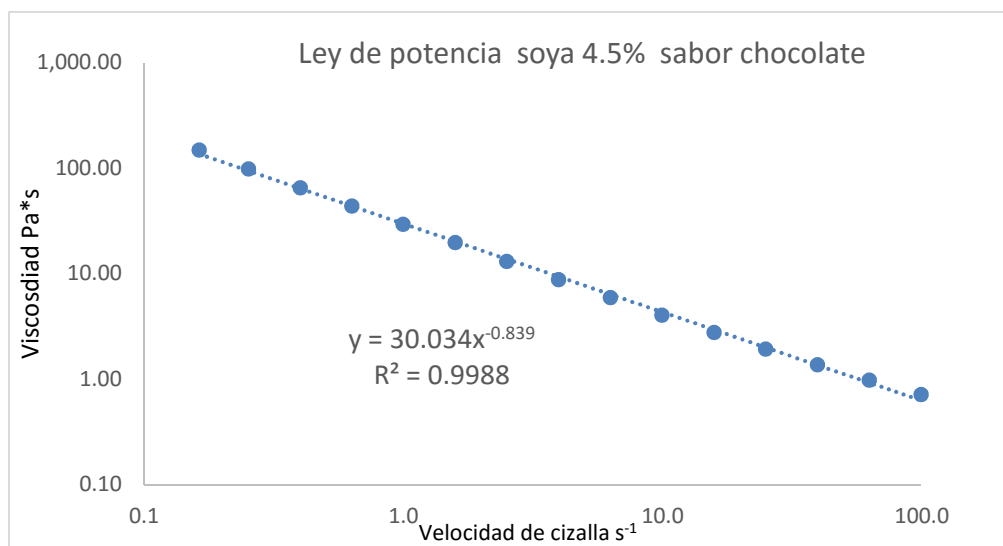
FM/ Matriz	Agua de jamaica	Agua de jamaica con azúcar	Bebida de jugo de manzana
Marca	Tang	Tang (azúcar marca Zulka®)	Beberé
Concentración de Fécula (%m/v)	4.5	4.5	4.5
	8	8	8

### 2.3.3 Caracterización Reológica de Corte y Dinámica

La caracterización de corte y la caracterización dinámica se realizó con el reómetro de esfuerzo controlado Anton Paar Physica MCR101 a 25°C, en el que el equipo se conecta a una computadora y los datos se analizan con el software Rheoplus 3.5®.

El diseño de este equipo, evita la fricción y permite el movimiento libre del rotor. Este reómetro fija un esfuerzo de cizalla y mide la deformación resultante, por lo que presenta una sensibilidad elevada para esfuerzos de cizalla bajos debido a su motor de torsión de inercia muy baja. La muestra fue preparada mediante una agitación manual durante 1 minuto, posteriormente se tomaron aproximadamente 3 g, y se dejó reposar durante dos minutos y se corrió una rampa de 6 minutos considerando el intervalo de velocidad de deformación  $0.1-1000 \text{ s}^{-1}$ . El experimento se realizó por triplicado y las gráficas expuestas en este trabajo corresponden al promedio obtenido de las tres experimentaciones.

Después de obtener la curva de flujo en cada caso, se observó un comportamiento acorde a la Ley de Potencia (Fig. 20), por lo que se obtuvo la ecuación del modelo potencial para obtener los parámetros  $k$  y  $n$ , para así recalcular los valores de viscosidad para el intervalo  $50-100 \text{ s}^{-1}$ , valores utilizados en el análisis reológico de seguridad de productos comerciales para el manejo de disfagia. Con estos valores, se realizó un análisis estadístico tipo ANOVA a una sola vía para cada etapa experimental. En los casos donde se encontró diferencia significativa, se realizó un análisis de diferencia mínima significativa honesta (DMSH) para encontrar las diferencias entre los productos; utilizando las primeras letras del abecedario para indicar tales diferencias.



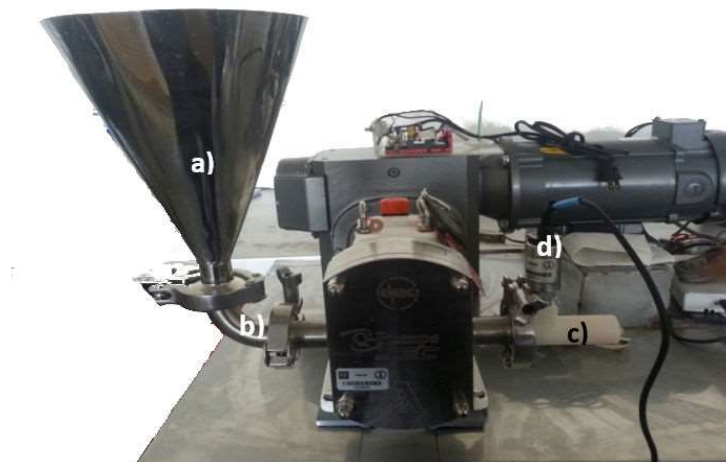
**Figura 20. Ejemplo de regresión Ley de Potencia.**

De acuerdo a la ley de Potencia:

$$\eta = K\dot{\gamma}^{n-1} = 30.034x^{-0.839}$$

#### 2.3.4 Caracterización Reológica Extensional

La caracterización extensional se realizó en el equipo diseñado por el laboratorio de Ingeniería de Procesos del CCADET, un reómetro de orificio de bomba de lóbulos de contracción semi-hiperbólica (Fig. 21). Dicho equipo se basa en el análisis de Binding, que incluye los efectos inerciales, elongacionales y cortantes sobre flujos convergentes. De tal manera que un fluido experimenta una disminución en el área al hacerse fluir a través de una contracción, el efecto viscoso del flujo disipa cierta cantidad de energía a través de las paredes, lo cual se expresa como una caída de presión. La deformación de cizalla que se puede dar ocurre cerca de las paredes y la deformación extensional cerca del centro, concurriendo como el principal responsable de la caída de presión. El análisis de Binding considera que la disipación viscosa es dominante y que la velocidad axial en la superficie de la pared es igual a cero. Es decir la viscosidad extensional es proporcional a la caída de presión.



**Figura 21. Reómetro de orificio de bomba de lóbulos. a) Cono de alimentación. b) Codo, c) Contracción semihiperbólica y d) Sensor de presión.**

La bomba de lóbulos genera un flujo constante antes de llegar al orificio. La presión se mide por medio de sensores de presión conectados a la contracción, que relacionan el voltaje con la caída presión mediante una regresión lineal. La tasa de flujo volumétrico se determina por la velocidad de impulso de un motorreductor y se establece con el porcentaje de carga indicado en la interfaz de la computadora. Además, dado el perfil semihiperbólico de la contracción, únicamente se utilizan la caída de presión y el flujo volumétrico para el cálculo de la viscosidad extensional, es decir esta configuración permite producir un flujo con extensión pura y esfuerzos de corte mínimos que pueden ser despreciables [Ascanio et al., 2015].

De esta forma:

$$\dot{\epsilon} = \frac{Q}{\pi Ro^2 L} \times \left( e^{\ln\left(\frac{Re^2}{Ro^2}\right)} - 1 \right)$$

$$\eta_e = - \frac{\Delta P}{\dot{\epsilon} \times \ln\left(\frac{Re^2}{Ro^2}\right)}$$

Donde

$\dot{\epsilon}$  = velocidad de deformación extensional [ $s^{-1}$ ]

$Q$  = Flujo volumétrico [ $m^3/s$ ]

$L$  = longitud de la contracción [ $m$ ]

$Re$  = radio de la tubería [ $m$ ]

$Ro$  = radio de la contracción [ $m$ ]

$\eta_e$  = viscosidad extensional [ $Pa \cdot s$ ]

$\Delta P$  = caída de presión [ $Pa$ ]

El reómetro de orificio de bomba de lóbulos se conecta a una interfaz de Labview® versión 2011, donde es posible obtener los datos de voltaje para cada RPM para posteriormente procesarse como presión y flujo en una hoja de cálculo y obtener la velocidad de deformación extensional y la viscosidad extensional. El experimento se hizo por triplicado, con una lectura de caída de presión durante 30 segundos para cada revolución por minuto y se eliminaron datos con el fin de generar un coeficiente de variación menor a 5% para cada velocidad de deformación. Para realizar la lectura, se prepararon 3 L de muestra, los cuales fueron colocadas en un mezclador durante 2 minutos a agitación constante y se removió la nata de la muestra de leche

light con el fin de evitar obstrucciones de las contracciones. Aunado a ello el equipo fue calibrado con glicerina, un fluido newtoniano que cumple la Ley de Trouton asegurándose un coeficiente de correlación igual a 1 para la gráfica de número de Euler (este valor es un número adimensional que indica el coeficiente de caída de presión debido a las características de disipación de los parámetros geométricos y de flujo) contra número de Reynolds (este valor es un número adimensional que indica si el tipo de flujo sigue un modelo laminar o turbulento). Por lo tanto la lectura de las presiones fue corregida mediante una regresión lineal [Ascanio et al., 2002; Özahi, 2015]. En el Anexo 6 se muestra una hoja de cálculo diseñada para realizar los cálculos de velocidad de elongación y viscosidad extensional.

Las velocidades de elongación generadas por el equipo se muestran en la Tabla 14, para generar bajas velocidades de elongación (fase esofágica de la deglución), se realizó la experimentación con una contracción  $\frac{1}{4}$ ' de geometría conocida y para generar altas velocidades de elongación (fase oral de transporte y fase faríngea) [Gallegos et al., 2002], se trabajó con una contracción  $\frac{1}{8}$ ' cuyos valores geométricos también son conocidos.

**Tabla 14. Valores de velocidad de elongación obtenidos de acuerdo al flujo volumétrico.**

Flujo volumétrico Q m <sup>3</sup> /s	Bajas velocidades de elongación $\dot{\epsilon}$ (1/s)	Altas velocidades de elongación $\dot{\epsilon}$ (1/s)
<b>2.91E-06</b>	29.2	350.1
<b>4.12E-06</b>	41.3	496.0
<b>5.33E-06</b>	53.5	641.9
<b>6.55E-06</b>	65.7	787.8
<b>7.76E-06</b>	77.8	933.7
<b>8.97E-06</b>	90.0	1079.6
<b>1.14E-05</b>	114.3	1371.3
<b>1.38E-05</b>	138.6	1663.1
<b>1.62E-05</b>	163.0	1954.9

De manera similar a la caracterización reológica de corte, se aplicó el modelo de Ley de potencia para las gráficas de viscosidad extensional de ambas contracciones. Para las velocidades de elongación bajas (que simulan la fase esofágica de la deglución), se utilizó un intervalo de 200 s<sup>-1</sup> analizando un barrido

desde  $50 \text{ s}^{-1}$  hasta  $250 \text{ s}^{-1}$  incrementándose cada  $10 \text{ s}^{-1}$ . En velocidades de elongación altas (que simulan la fase oral de transporte y la fase faríngea de la deglución), se utilizó un intervalo de  $2500 \text{ s}^{-1}$  aproximadamente, analizando un barrido desde  $300 \text{ s}^{-1}$  hasta  $2500 \text{ s}^{-1}$  incrementándose cada  $100 \text{ s}^{-1}$ . Con los valores de viscosidad obtenidos en ambos casos, se realizó un análisis estadístico a una sola vía y el análisis DMSH donde se halló diferencia significativa.

#### 2.3.5 Perfil Flash

El análisis descriptivo Perfil Flash (PF) fue desarrollado en dos sesiones con la participación de 20 jueces semi-entrenados, es decir jueces que han llevado a cabo un entrenamiento sensorial, que no corresponde a los productos de estudio. (Figura 23).

En la primera sesión se generaron los descriptores asociados al producto para posteriormente compilar los descriptores más relevantes y mencionados con mayor frecuencia. En la segunda sesión se evaluaron las muestras comerciales sin texturizar y los productos espesados, dedicando una sesión de evaluación para cada una de las cuatro matrices base y sus respectivos controles dividiendo los atributos en cuatro categorías (apariciencia, olor, sabor y textura). Ambos productos se compararon en una escala lineal que manejó un nivel bajo y un nivel alto y la captura de datos se realizó con el software Fizz® acquisition 2.3 (Biosystemes, 2007, Couternon, Francia). La segunda sesión se condujo en las cabinas de evaluación del laboratorio 4-D de la Facultad de Química. (Figura 22).

El tratamiento de datos se llevó a cabo mediante el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de procrustes generalizado (APG) con el método de Gower, (un análisis estadístico multi-variable) consistente en una matriz de datos de 2 muestras, 24-27 términos y 20 jueces entrenados (considerándose como 10 iteraciones), es decir, una repetición. De esta forma, se obtuvo un mapa para posicionar las muestras y términos, permitiendo ver las relaciones entre estos. El método de Gower es aplicado para garantizar el mayor uso de datos posible y así determinar las variables que contribuyen a diferenciar los productos respecto a su control (Bebida sin espesar) [Villaroel et al., 2003].



La matriz obtenida fue estandarizada para generar promedios nulos y varianzas unitarias por variable. Como resultado de esta transformación se obtuvo una nueva matriz con valores propios; que corresponden a la varianza de las determinaciones en cada uno de los componentes, y vectores propios; que corresponden a las coordenadas en el espacio inicial que dan la dirección de los componentes principales [Villaroel et al., 2003]. Geométricamente se trata de una alineación de centroides de los puntos de la escala de los productos obtenidos sin alterar la distancia establecida entre los mismos por cada juez. Posteriormente se realiza una rotación/ reflexión de los puntos de los productos con el fin de lograr la distancia mínima para cada evaluación del mismo producto, generando coordenadas para cada factor. Finalmente, se realiza un análisis de correlación entre la dimensión de la configuración consensual inicial y los factores. [Dijksterhuis, 1996]. En general se busca que el gráfico de sedimentación (scree plot) de los valores propios- que considera el número de componentes en el que el descenso del valor propio se estabiliza- sea capaz de explicar un porcentaje alto de la varianza y tenga representación gráfica en dos dimensiones, para así generar correlaciones entre las variables originales y los factores obtenidos en un plano. Finalmente, el resultado del ACP se resume en dos gráficos: el diagrama de variables o círculo de correlación, donde se representan precisamente las variables sensoriales en el plano factorial retenido; y las coordenadas corresponden a los coeficientes de correlación entre las variables originales del análisis y cada uno de los componentes, y el diagrama de muestras o espacio sensorial; en el que se representan las muestras en el plano [Riaño, 2013]. El análisis de los datos experimentales fue realizado en el paquete estadístico XLstat.



Figura 22. Cabina de evaluación sensorial y material de evaluación para Perfil Flash.



Figura 23. Jueces evaluando las muestras del Perfil Flash.

#### 2.3.6 Nivel de agrado

El análisis de nivel de agrado de los productos consideró la evaluación sensorial de dos muestras texturizadas con sus referencias sin texturizar. Las muestras fueron seleccionadas de acuerdo al perfil “Flash” del producto y los resultados obtenidos, discriminándose así, las muestras con el perfil más grumoso, arenoso y menos homogéneo. Las cuatro muestras fueron codificadas con números de tres dígitos y el orden fue aleatorizado para cada consumidor (Figura 24). Las pruebas de nivel de agrado se llevaron a cabo en el Anexo del Laboratorio de Evaluación Sensorial 4-D de la Facultad de Química.



**Figura 24. Charola de evaluación para consumidor.**

Se convocó a 60 consumidores no habituales (22 hombres y 38 mujeres entre 19 y 33 años), es decir consumidores que no presentan problemas de deglución (Figura 25). El cuestionario consistió en preguntas previas a la evaluación para conocer los hábitos de consumo del entrevistado, para posteriormente evaluar 6 atributos afectivamente mediante una escala hedónica de 9 puntos y finalmente preguntas sobre las características del producto que se probó y si el consumidor estaría dispuesto a incluirlo en su dieta. Los atributos a evaluar consistieron en apariencia, olor, sabor, textura, grumosidad y agrado en general del producto. El cuestionario se anexa al final (Anexo 3). La captura de datos fue realizada con el software Fizz® acquisition 2.3 (Biosystemes 2007, Couternan, Francia) para posteriormente procesar los datos de cada atributo evaluado mediante un análisis de varianza (ANOVA  $p < 0.05$ ) de una sola vía mediante una hoja de cálculo, en los atributos donde se encontró diferencia significativa se realizó una prueba de DMSH.



**Figura 25. Consumidores realizando la prueba afectiva de nivel de agrado.**

# Capítulo 3

# Resultados

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Estudios preliminares de caracterización reológica de corte

Se realizó una caracterización reológica de las matrices agua, (Fig. 26), leche light (Fig. 27) y bebida de soya sabor natural (Fig. 28) con tres diferentes concentraciones (1%, 4.5% y 7%) de fécula de maíz (FM), comparándose con los medios de contraste Varibar® que se utilizan como referencia.

Las gráficas presentan el promedio de los resultados obtenidos por el equipo y la desviación estándar de los mismos. Las curvas de consistencia tipo miel y tipo pudín se muestran como una línea continua, por ser considerados valores de referencia.

En todos los casos se observa un comportamiento no newtoniano del tipo reofluidizante:

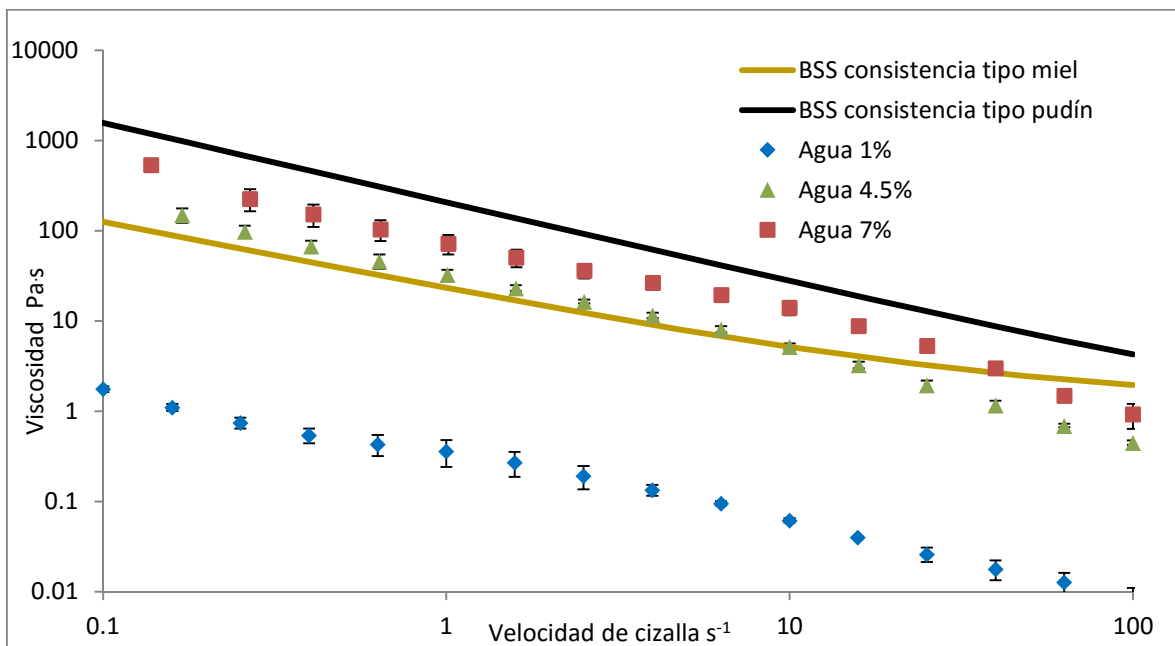


Figura 26 . Curva de flujo para diferentes concentraciones de agua espesada con fécula de maíz.

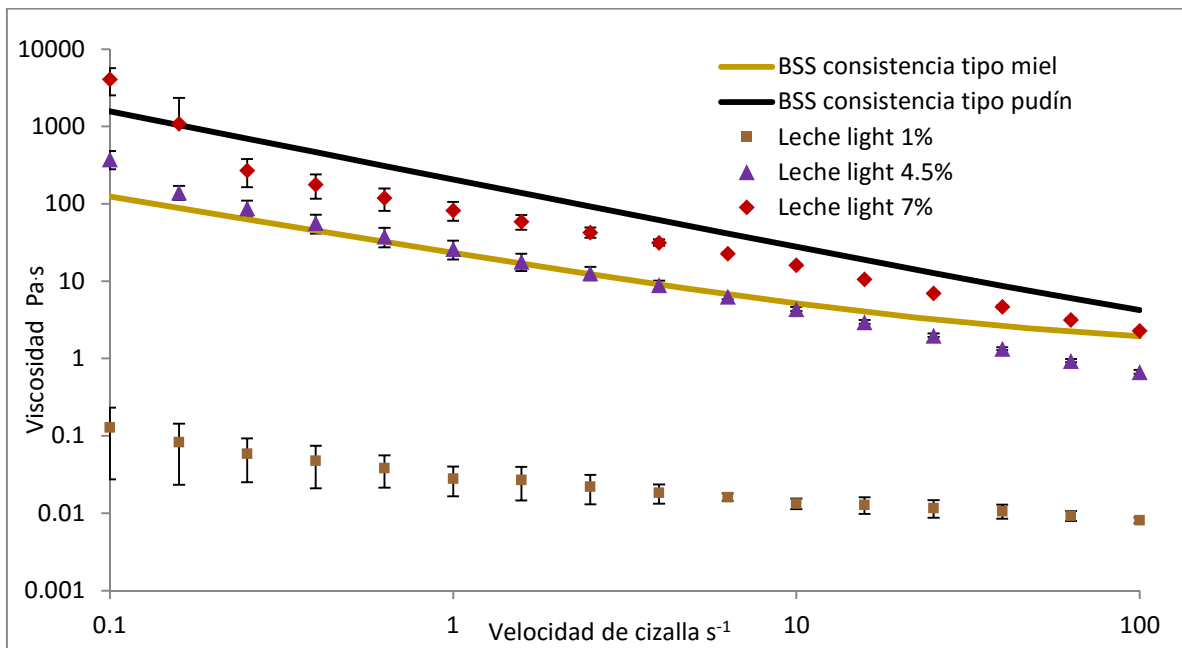


Figura 27. Curva de flujo para diferentes concentraciones de leche light (LL) espesada con FM.

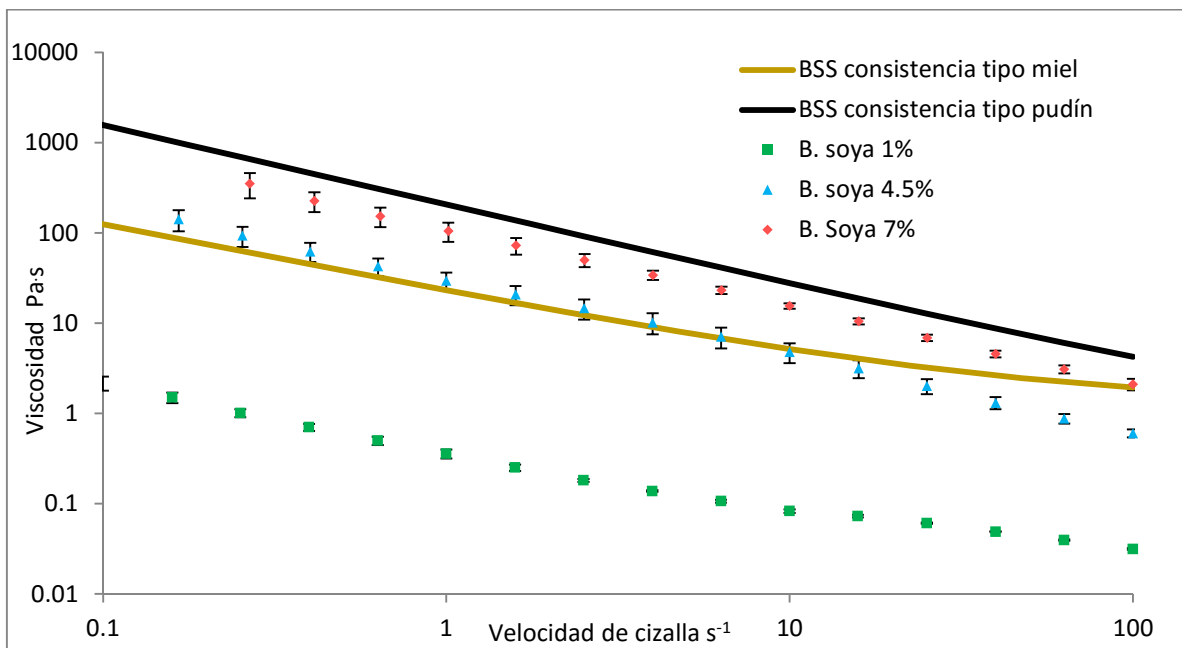


Figura 28. Curva de flujo para diferentes concentraciones de bebida de soya (BS) espesada con fécula de maíz.

Sin embargo se observa que las muestras espesadas con fécula al 1%, se encuentran muy por debajo de los medios de contraste de referencia. Asimismo, el

agua presentó un esfuerzo menor a velocidades mayores, es decir, presenta una menor resistencia a fluir posiblemente por ser una matriz poco compleja. No obstante, generó mayor dificultad para dispersar la FM y las mezclas presentaron grumos a pesar de homogeneizarse. Esto provocó que se presentaron fluctuaciones en la curva de flujo e incluso se mostrara un punto de inflexión a  $10 \text{ s}^{-1}$ . (Figuras 29 y 30), siendo más notable en concentraciones altas de fécula, donde la red de almidón no es continua ni estable como se observa para las otras matrices probadas.

De acuerdo a los valores de Ley de Potencia (Tabla 15), se observa que al aumentar el contenido de fécula de maíz el parámetro de consistencia  $k$  aumenta y el índice de flujo disminuye notablemente al pasar de 1% a 4.5%, es decir, tiende a ser un fluido más reofluidizante, dado que al aumentar el contenido del polisacárido en la matriz, se favorecen las interacciones moleculares del almidón. Los coeficientes de regresión más elevados fueron obtenidos con la concentración 4.5% FM.

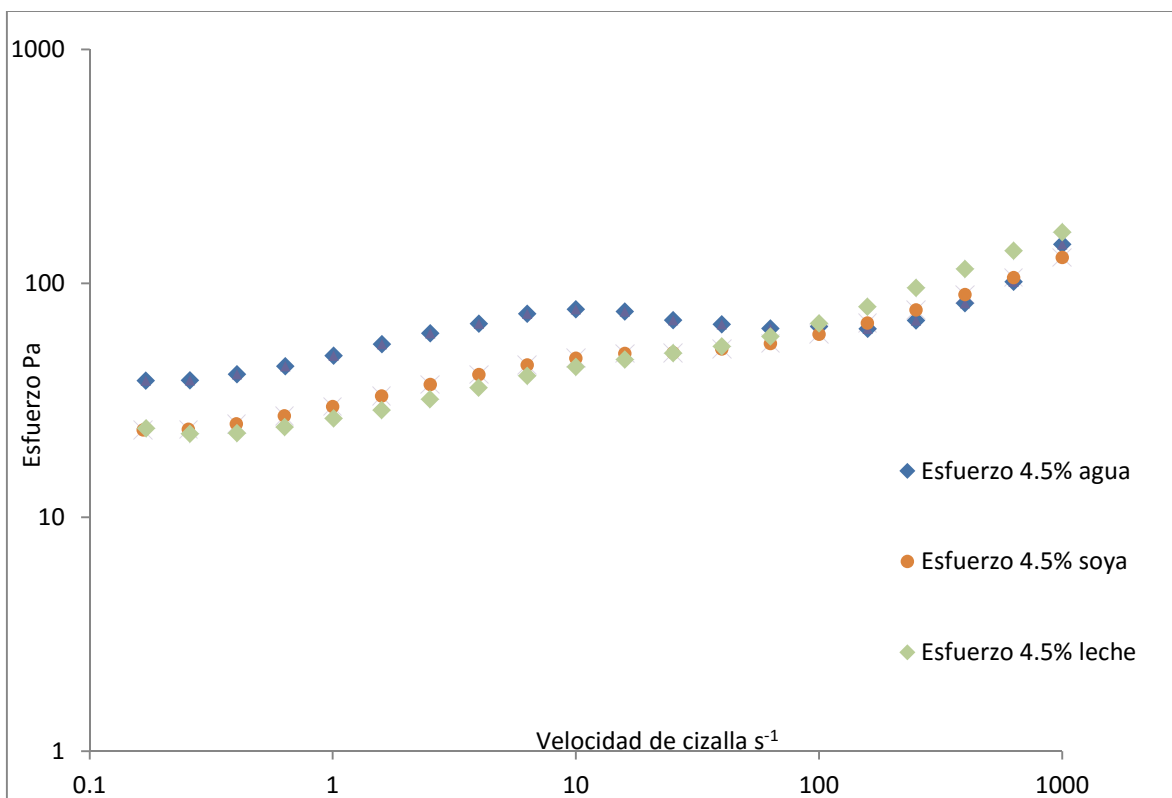


Figura 29. Comparación de curva esfuerzo/velocidad de cizalla para la concentración 4.5% FM.

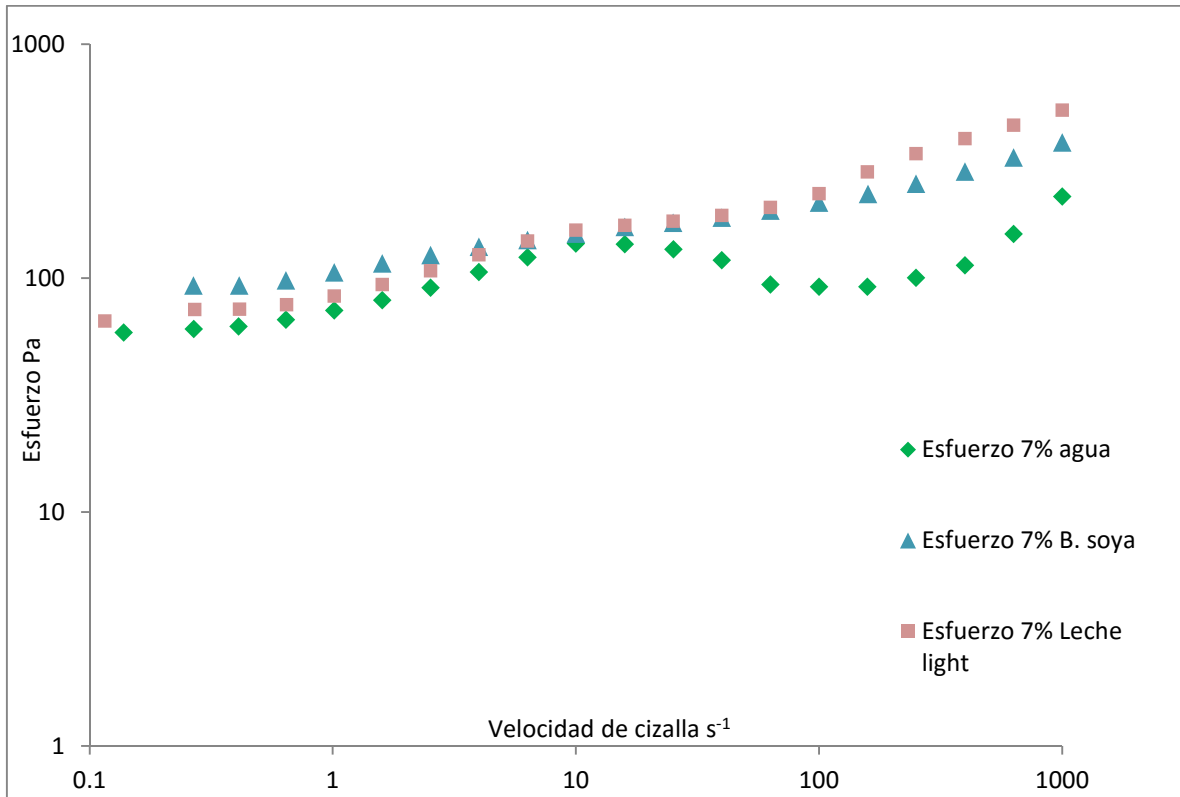


Figura 30. Comparación de curvas de esfuerzo/velocidad de cizalla para la concentración 7% FM.

Tabla 15. Resumen de parámetros de regresión Ley de potencia.

Matriz	% FM	n	k (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
Agua	1	0.248	0.3158	0.9954
	4.5	0.097	32.59	0.9964
	7	0.111	75.008	0.9922
Leche light	1	0.682	0.0335	0.9860
	4.5	0.191	28.988	0.9986
	7	0.211	98.497	0.9958
Bebida de soya	1	0.43	0.398	0.9908
	4.5	0.156	31.366	0.9995
	7	0.133	117.25	0.9984

Con este acercamiento a los valores de referencia de los medios de contraste, se fundamenta técnicamente la propuesta para preparar los atoles con otras matrices de base láctea y acuosa.



### 3.2 Selección de matrices y concentraciones de fécula de maíz

En esta parte, se hicieron pruebas de corte a muestras de atole fortificado y saborizado (a partir de fécula de maíz). Se probaron 6 sabores, tres matrices y una concentración (4.5% FM) para las muestras con matrices tipo lácteas (Tabla 12- Metodología). Las pruebas de análisis estadístico se muestran en el Anexo 2.

#### 3.2.1 Reología de corte para matrices tipo lácteas

De acuerdo a los resultados obtenidos (Fig. 31-36), se muestra que los productos tienen un comportamiento reofluidizante como se observó anteriormente en las Figuras 27 y 28.

La matriz de leche deslactosada presenta una viscosidad superior a las demás matrices, lo cual puede deberse al papel que tiene la grasa butírica en la viscosidad del producto. La bebida de soya contiene menor cantidad de grasa; sin embargo, la lecitina y proteínas de soya afectan este parámetro no obstante, los valores de viscosidad observados para la bebida de soya son similares e incluso inferiores a los valores observados para la leche light.

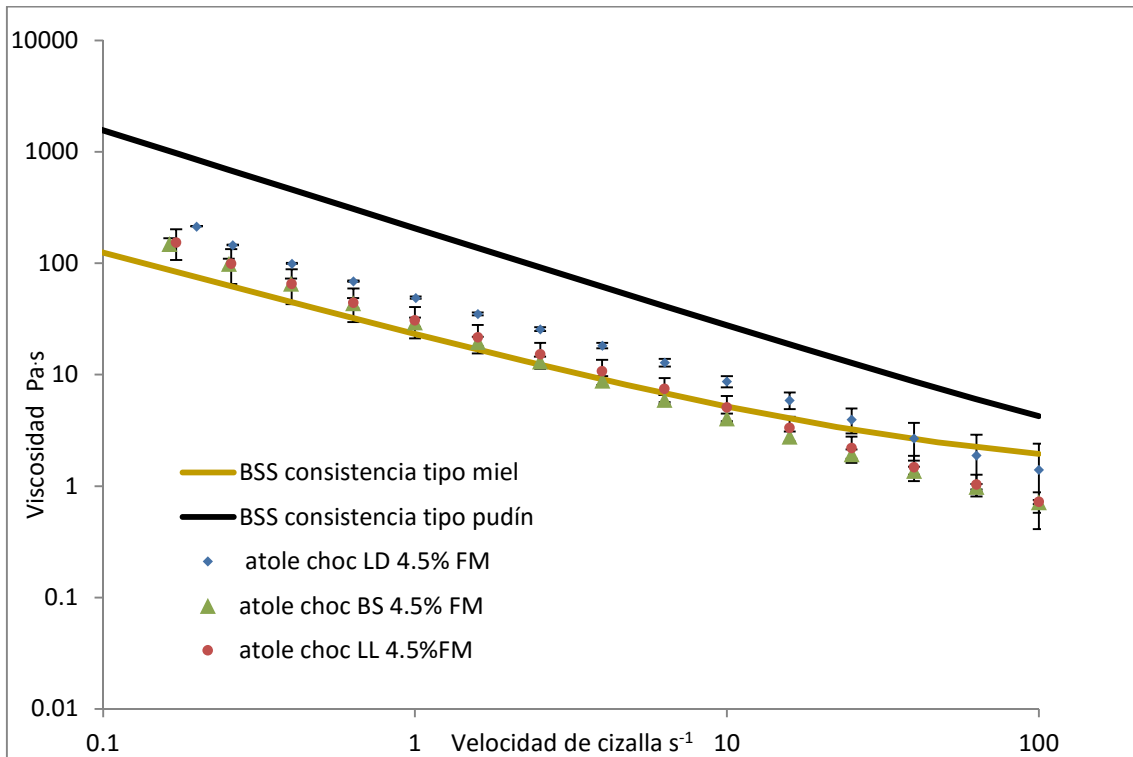


Figura 31. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor chocolate.

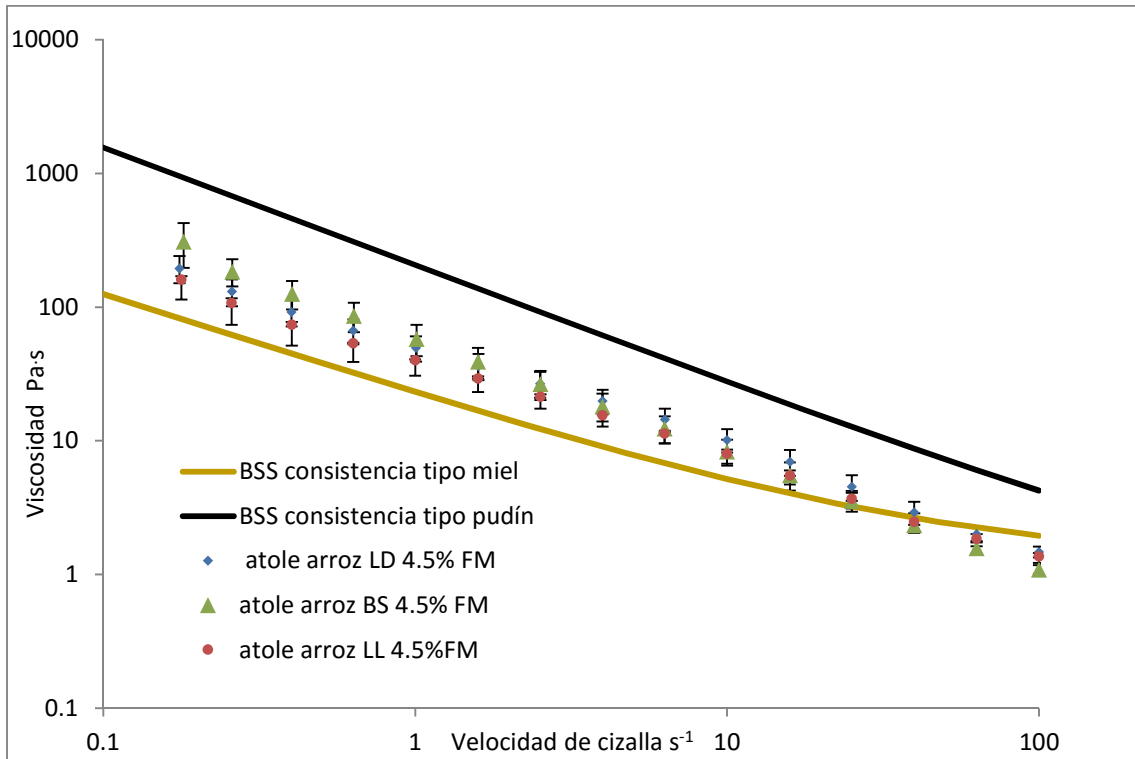


Figura 32. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor arroz con leche.

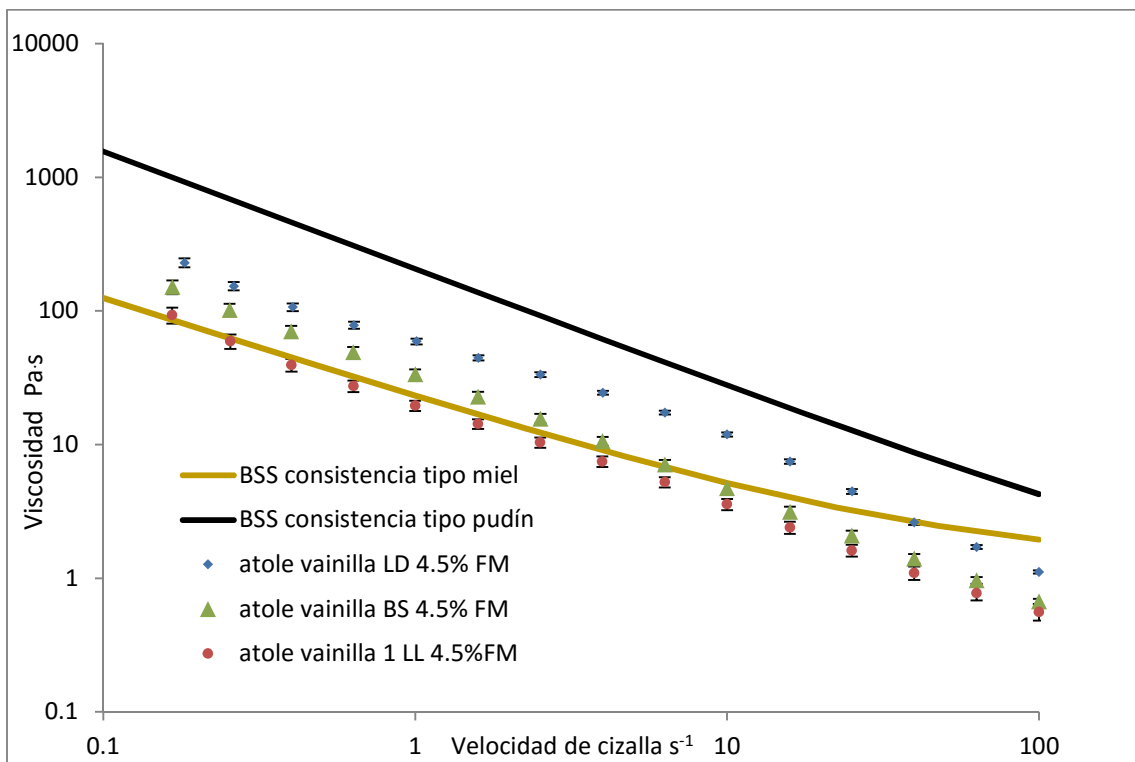


Figura 33. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor vainilla 1.

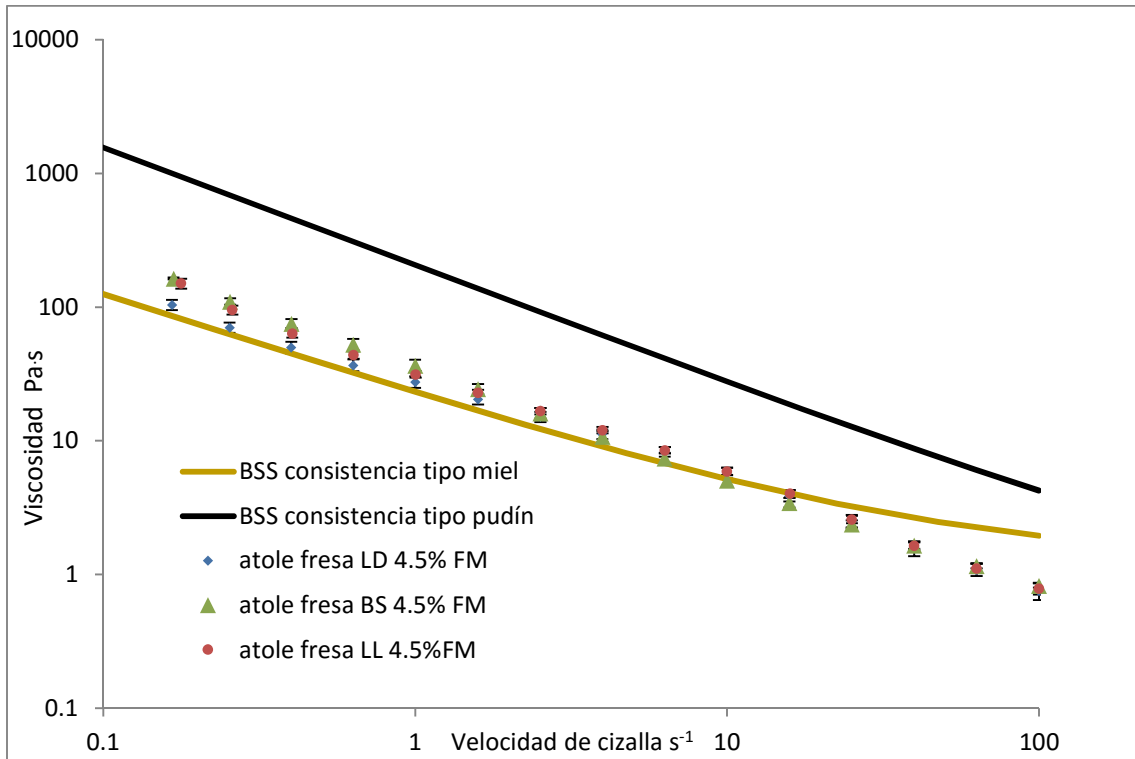


Figura 34. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor fresa.

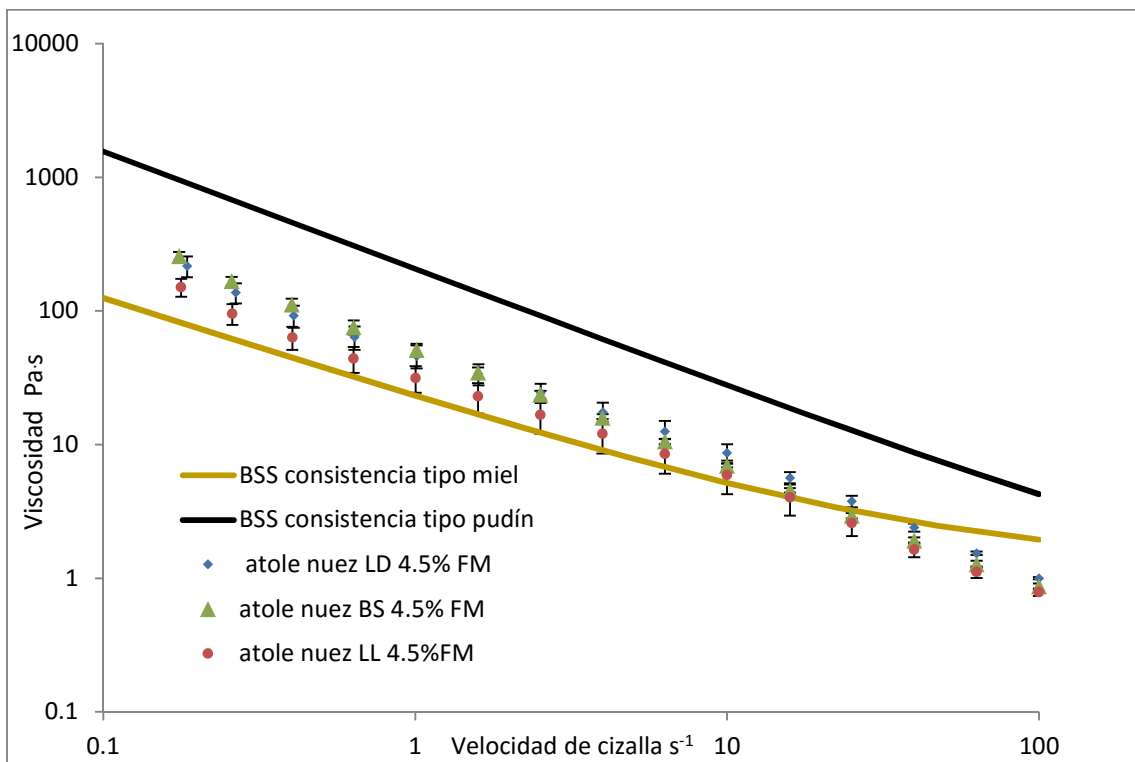


Figura 35. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor nuez.

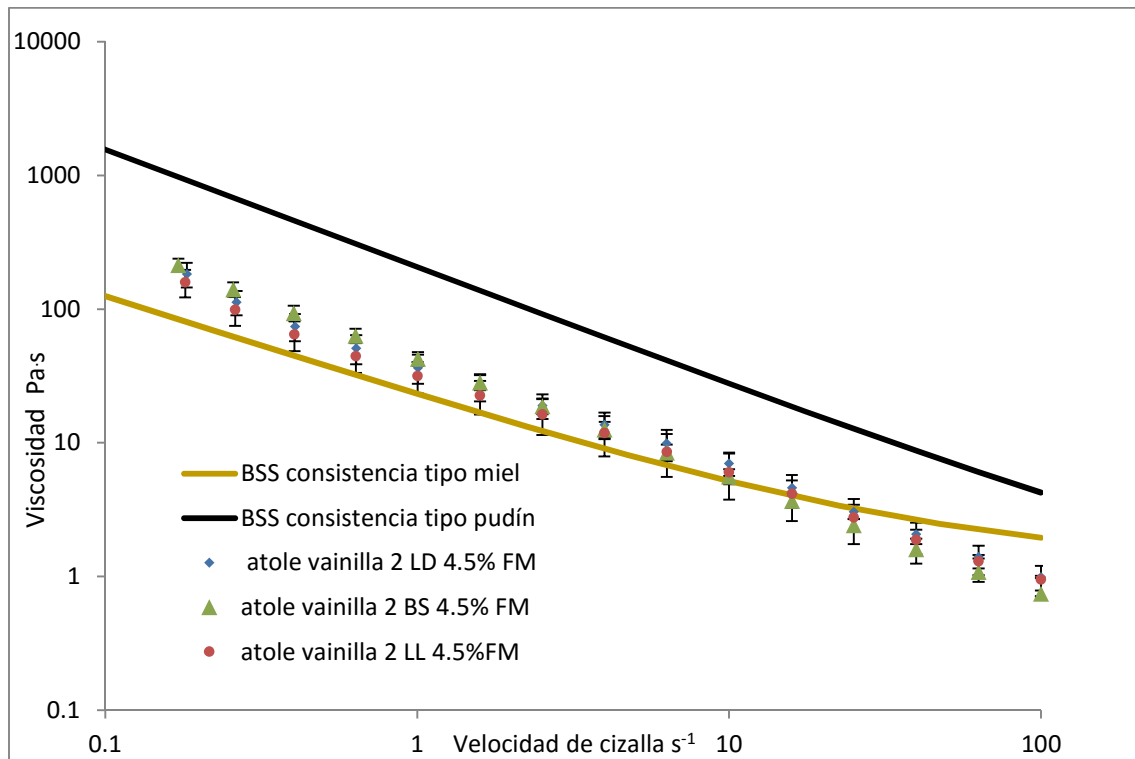


Figura 36. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz sabor vainilla.

Tabla 16. Resumen de parámetros de regresión Ley de potencia.

Sabor	Matriz	n	k (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
Chocolate	Bebida de soya	0.161	30.034	0.9988
	Leche light	0.172	32.57	0.9992
	Leche deslactosada	0.208	52.098	0.9987
Arroz	Bebida de soya	0.139	60.427	0.9992
	Leche light	0.261	41.191	0.9992
	Leche deslactosada	0.247	51.162	0.997
Vainilla 1	Bebida de soya	0.151	33.167	0.9998
	Leche light	0.215	20.699	0.9989
	Leche deslactosada	0.186	60.662	0.9893
Fresa	Bebida de soya	0.182	35.888	0.9993
	Leche light	0.197	33.785	0.9988
	Leche deslactosada	0.248	27.908	0.9975
Nuez	Bebida de soya	0.112	52.135	0.9997
	Leche light	0.197	33.785	0.9976
	Leche deslactosada	0.184	49.627	0.9967
Vainilla 2	Bebida de soya	0.114	42.982	0.9999
	Leche light	0.217	34.521	0.998
	Leche deslactosada	0.204	39.899	0.9978

**Tabla 17. Diferencia mínima significativa honesta para el promedio de viscosidad de las distintas matrices.**

Sabor	Pudín	Miel	B. de soya 4.5%	Leche light 4.5%	L. deslact 4.5%	atole
Chocolate	5.17	1.63	0.83	0.94	1.76	0.24
	a	b	c	c	b	d
Arroz	5.17	1.63	1.52	1.83	2.08	0.21
	a	bc	c	b	b	d
Vainilla 1	5.17	1.63	1.03	1.25	1.40	0.27
	a	b	c	c	bc	d
Fresa	5.17	1.63	1.08	1.09	1.12	0.26
	a	b	c	c	c	d
Nuez	5.17	1.63	1.17	1.09	1.51	0.56
	a	b	c	c	b	d
Vainilla 2	5.17	1.63	0.88	0.72	1.86	0.54
	a	b	c	c	b	d

Las curvas de viscosidad obtenidas indican que las muestras obedecen a la Ley de Potencia ( $R^2 \geq 0.98$ ). Los valores de  $n$  son menores a 1, lo que exhibe un comportamiento reofluidizante mientras que los valores de consistencia  $k$  varían para cada muestra, siendo los valores más bajos para las fórmulas con leche light (Tabla 16). El producto preparado con leche deslactosada presenta mayor viscosidad que las demás matrices, independientemente del sabor utilizado. La leche deslactosada contiene el mayor contenido de grasa y de monosacáridos, lo que afecta los valores de viscosidad al permitir formarse una red más estable y homogénea [Peamprasart & Chiewchan, 2005].

Por otra parte, las matrices de leche light y bebida de soya mostraron valores muy similares. Los productos elaborados con la fécula sabor arroz presentaron valores más altos de viscosidad, a pesar de reportar menor proporción de fécula de maíz en su etiqueta. En cambio el sabor fresa, cuya etiqueta indica el porcentaje más alto de carbohidratos obtuvo valores más bajos de consistencia. Y a pesar de no presentar diferencias significativas entre sí, los productos de este sabor, se encuentran por debajo del valor de referencia tipo miel (*honey*) (Tabla 17).

Debido a que el único producto elaborado con la matriz bebida de soya que no presentó diferencia significativa con la consistencia tipo miel fue el sabor arroz con leche, se seleccionó para realizar el análisis sensorial.

Para la matriz leche deslactosada, se seleccionó el producto sabor chocolate, ya que fue el segundo sabor en no mostrar diferencias significativas con la referencia, además, este producto tiene un olor familiar para la población mexicana [Severiano et al., 2012].

La leche light presentó diferencias significativas con la referencia por lo que se decidió elevar la concentración de fécula sabor vainilla, al segundo valor más alto en viscosidad, con un incremento del 0.7% y permitir que el producto fuera más parecido a la referencia. Asimismo, debido al poco sabor que presentaron los productos elaborados con leche, se añadió azúcar (0.0165-0.2%) con el fin de potenciar este atributo (LD y LL).

### 3.2.2 Reología de corte para matrices tipo agua

Para las matrices a base de agua (Tabla 11-Metodología), los resultados obtenidos a la misma concentración que las matrices lácteas (4.5%) indican valores más bajos de viscosidad. (Fig. 37). Esto es debido al poco contenido de sólidos, que influye en la viscosidad y estructura del sistema de dispersión [Sopade et al., 2008].

Las matrices con concentración superior (8%) exhiben también un comportamiento reofluidizante, el cual es similar al tipo pudín para valores de velocidad de cizalla bajo pero al aumentar la velocidad de deformación, la viscosidad disminuye más, adquiriendo valores similares a la consistencia miel (Fig. 38).

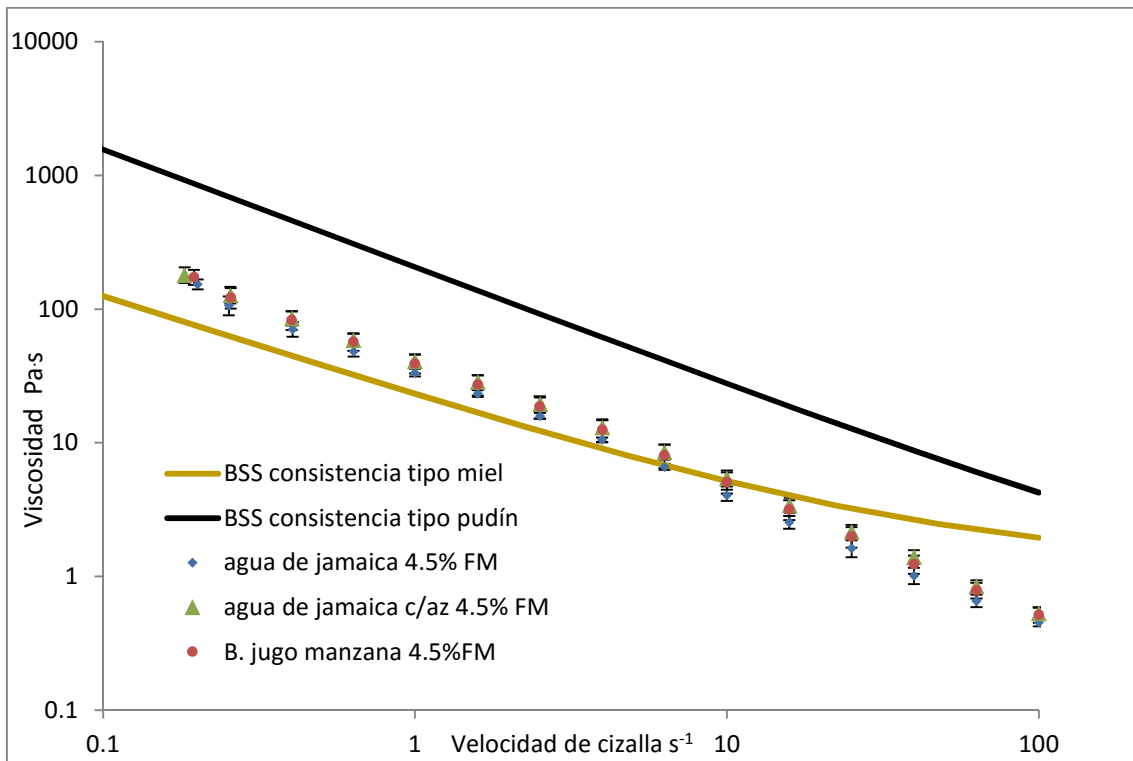


Figura 37. Curva de flujo para bebidas base agua espesadas con fécula de maíz al 4%.

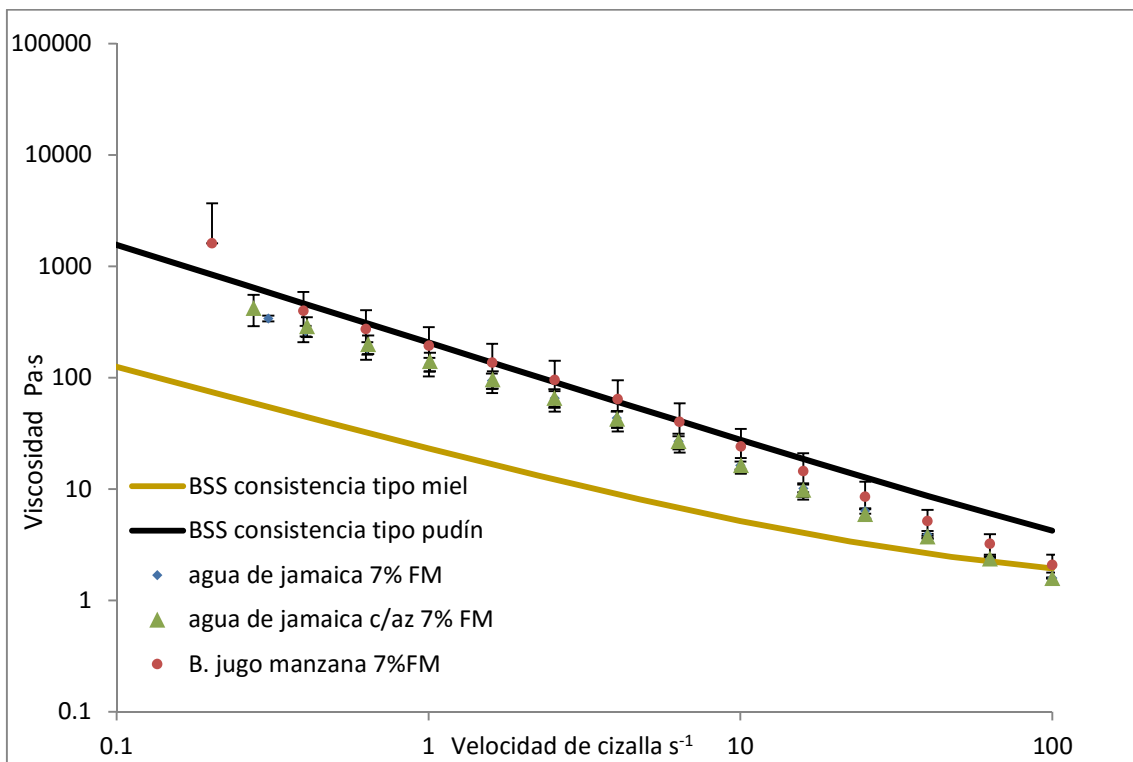


Figura 38. Curva de flujo para bebidas base agua espesadas con fécula de maíz al 8%.

**Tabla 18. Resumen de parámetros regresiones para matrices base agua**

Sabor	% Fécula de maíz	n	k (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
Bebida de jugo de manzana	4.5%	0.079	39.356	0.998
	8%	0.03	221.93	0.9939
Agua de jamaica	4.5%	0.07	33.583	0.9984
	8%	0.064	131.55	0.9953
Agua de jamaica con azúcar	4.5%	0.09	40.903	0.9978
	8%	0.04	139.76	0.9881

De acuerdo a la Tabla 18, los valores de n son muy similares para las muestras utilizadas en la aproximación anterior. Los valores de k para la concentración 4.5% fueron similares entre sí. Mientras que los valores para la concentración 8% con jugo de manzana fueron más altos. Los valores del agua de jamaica también fueron los esperados dado que el único cambio fue la cantidad de azúcar añadido al agua de sabor. Con los resultados de la Ley de Potencia, se realizaron las comparaciones del comportamiento reológico de las preparaciones con los medios de contraste de consistencias miel y pudín (Tabla 19).

**Tabla 19. DMSH para el promedio de viscosidad de las matrices con fécula de maíz 4.5%.**

Sabor	Pudín	Miel	B. de jugo man 4.5%	Agua jam 4.5%	Agua jam c/Az 4.5%	Agua 4.5%
Chocolate	5.17	1.63	0.77	0.63	0.83	0.76
	a	b	c	c	c	c

Las consistencias de referencia fueron superiores a los productos elaborados con 4.5% de FM pero las muestras no mostraron diferencias significativas entre sí. No obstante, el agua de jamaica con azúcar contiene mayor contenido de sólidos solubles, por lo que se esperaría una mayor viscosidad; sin embargo, la concentración añadida no implica que haya diferencia.

**Tabla 20. DMSH para el promedio de viscosidad de las distintas matrices con fécula de maíz 8%.**

Sabor	Pudín	Miel	B. de jugo man 8%	Agua Jam 8%	Agua jam c/Az 8%	Agua 8%
Chocolate	5.17	1.63	3.04	2.40	2.31	1.76
	a	d	b	c	c	d



En el caso de los productos con FM 8%, es importante señalar que las muestras mostraron un comportamiento de viscosidad menor a la consistencia tipo pudín; pero significativamente superior a la consistencia tipo miel, con excepción del agua, que resultó ser similar. La bebida de jugo de manzana presentó un valor de viscosidad superior a los valores del agua de jamaica con y sin azúcar y se seleccionó para realizar un análisis sensorial. Por otra parte, asumiendo un comportamiento entre la viscosidad y el %FM de la bebida, se buscó igualar la viscosidad de la consistencia miel del medio de referencia y se encontró que la concentración de fécula de maíz necesaria es 5.8%.

### 3.2.3 Concentraciones de fécula de maíz y azúcar seleccionadas para el Perfil flash

En resumen, las concentraciones de fécula de maíz y azúcar para las pruebas posteriores, se presentan en la tabla 21.

**Tabla 21. Concentraciones de fécula de maíz y azúcar para las matrices base.**

<b>Matriz</b>	<b>Sabor</b>	<b>Concentración Fécula (%)</b>	<b>Concentración Azúcar Añadida (%)</b>
<b>Bebida de soya</b>	Arroz con leche	4.5	0
<b>Leche deslactosada</b>	Chocolate	4.5	0.2%
<b>Leche light</b>	Vainilla	5.2	0.165%
<b>Bebida de jugo</b>	Manzana	5.8	0

### 3.3 Perfil flash de matrices seleccionadas

#### 3.3.1 Perfil flash para matriz base leche deslactosada

Durante la primera sesión del perfil flash, se generaron 46 atributos sensoriales para un total de 25 términos. Por lo tanto, en los ejes 1-2 del ACP se obtuvo más del 90% de la variación total de los datos en las cuatro categorías y con ello se mostró una clara separación de las muestra texturizada sabor chocolate respecto a la leche deslactosada.

#### ► Aspecto

Como se puede observar en la Fig. 39, el componente 1 (dado principalmente por color y homogeneidad) explica el 90.62% y el componente 2 (principalmente brillo y homogeneidad) el 7.20% entre ambos explican el 97.82% de la variabilidad de las muestras. Al texturizar la leche deslactosada con fécula de maíz se vuelve un producto más oscuro, homogéneo y menos brillante.

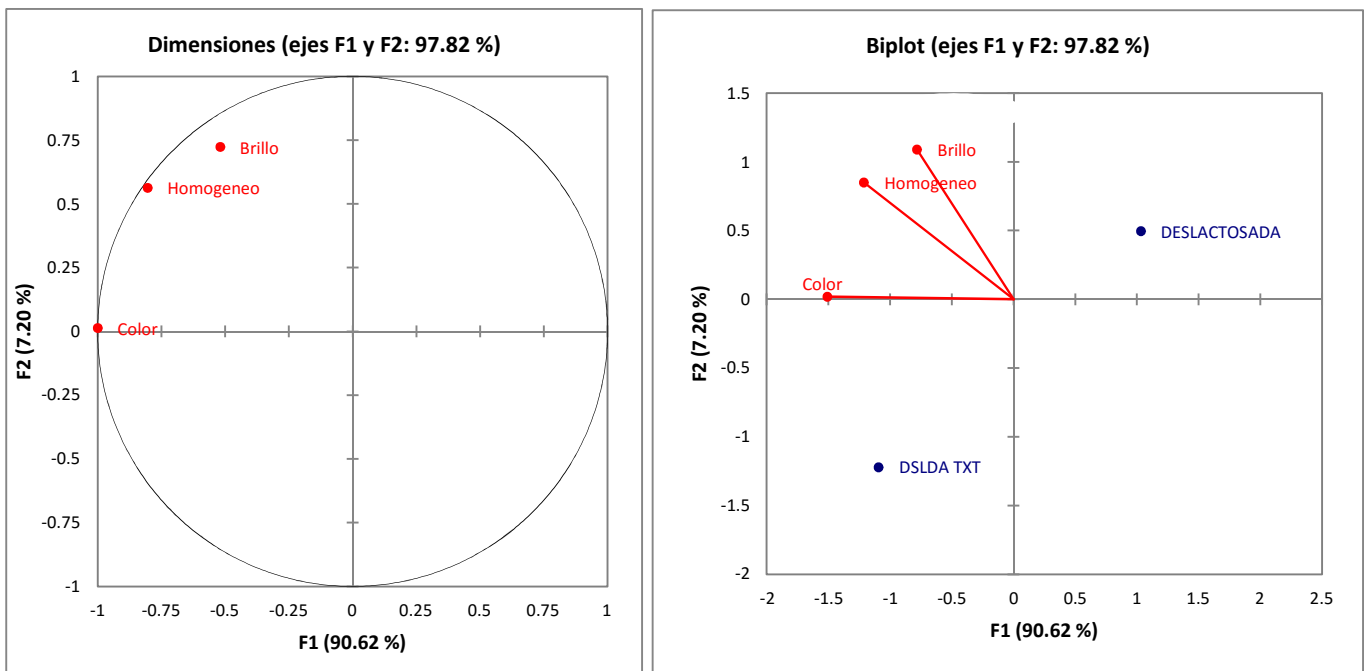


Figura 39. Espacio sensorial de atributos para el aspecto de las muestras de leche deslactosada.

## ► Olor

En la Fig. 40, se observa que el componente 1 (dado principalmente por los olores dulce, a chocolate, a caramelo y leche) explica el 72.03% y el componente 2 (principalmente una nota a vainilla, mantequilla y olor ácido) el 18.61% entre ambos explican el 90.64% de la variabilidad de las muestras. De acuerdo a los resultados, existe un impacto en el olor de las muestras al modificar su textura; la leche deslactosada tiene un olor característico a leche, identificándose olor a leche cocida, ácido y mantequilla, mientras que el producto modificado tiene un olor dulce, a caramelo, chocolate, vainilla y ligeramente a maicena.

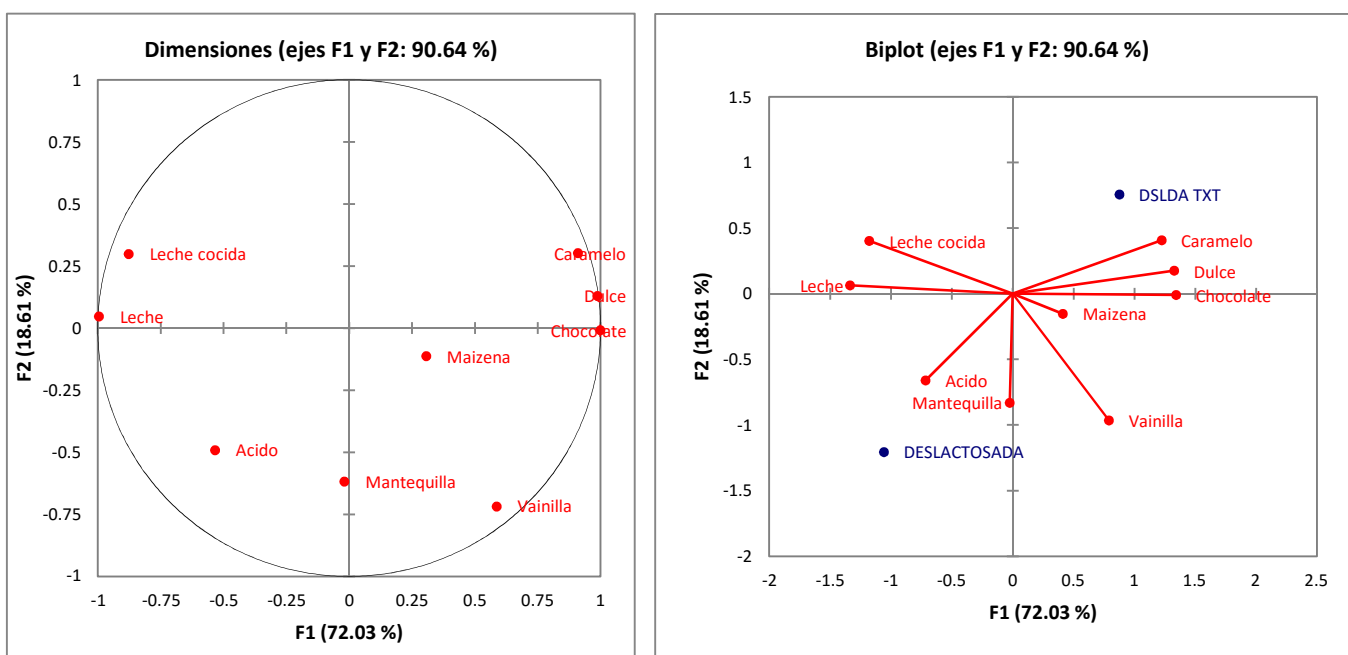


Figura 40. Espacio sensorial de atributos para el olor de las muestras de leche deslactosada.

## ► Sabor

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por un sabor dulce, a chocolate, a leche y resabio dulce) explica el 73.61% y el componente 2 (principalmente a vainilla y nota a almidón) el 18.77%, entre ambos explican el 92.38% de la variabilidad de las muestras. En la Figura 41, se puede observar que el texturizar las muestras modifica el sabor, pues se cambia el perfil de un producto con predominante sabor y resabio dulce, vainilla y leche hacia el sabor chocolate y una nota a almidón.

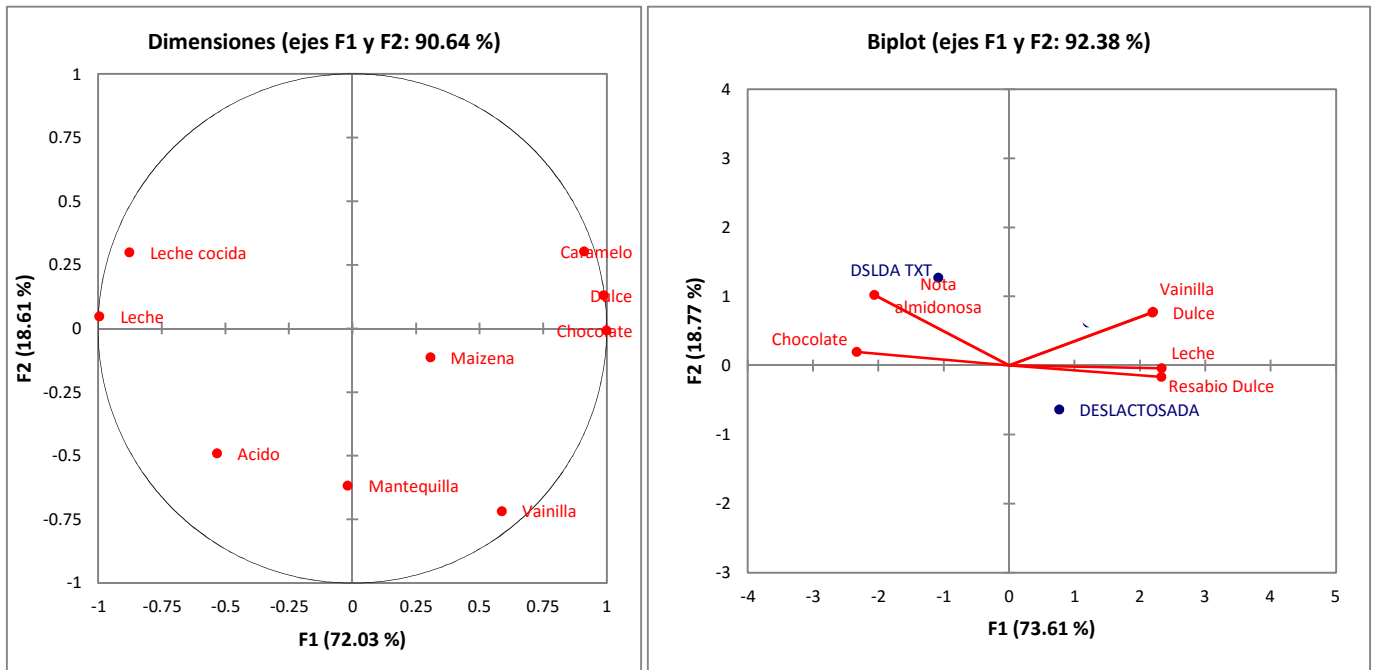


Figura 41. Espacio sensorial de atributos para el sabor de las muestras de leche deslactosada.

► **Textura**

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por atributos como grumoso, espeso, cremoso, arenoso, resbaloso al deglutir y con sensación grasa) explica el 79.30% y el componente 2 (principalmente dureza) el 14.63%, entre ambos explican el 93.93% de la variabilidad de las muestras.

Como se puede observar en la Figura 42, al texturizar la leche deslactosada el perfil de textura cambia hacia un producto más duro, arenoso, espeso y grumoso con sensación grasa y se vuelve menos resbaloso al deglutir.

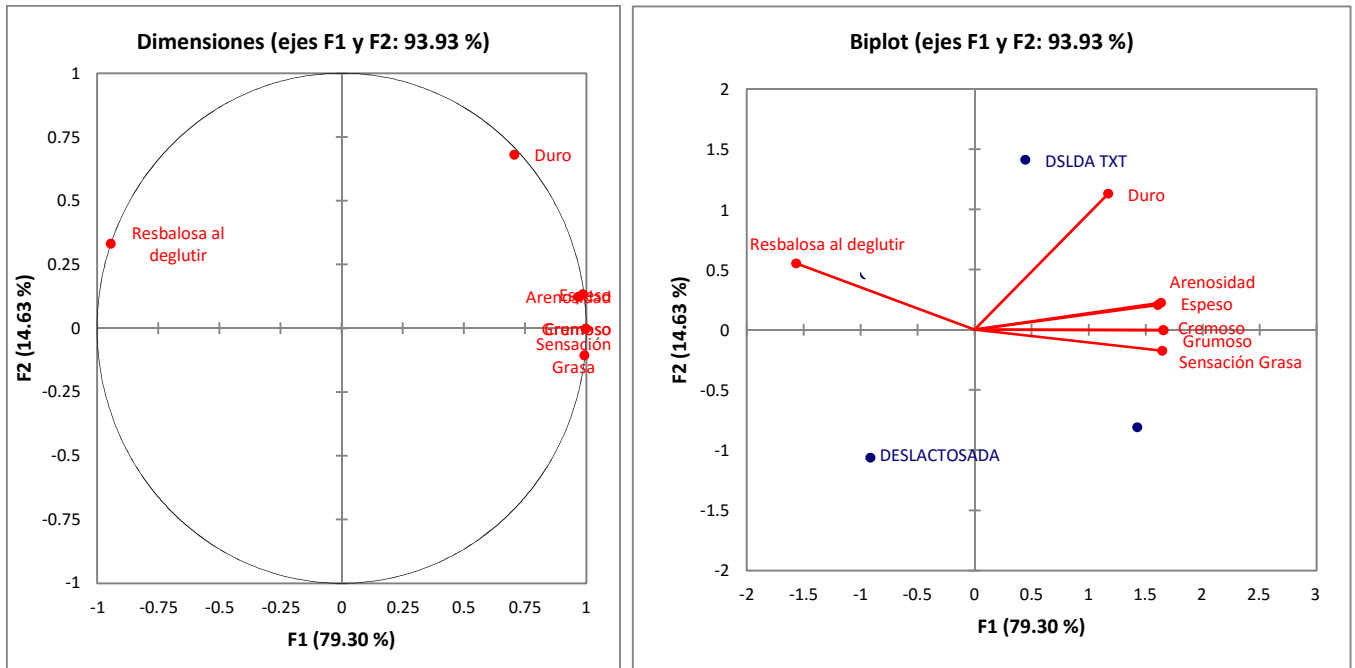


Figura 42. Espacio sensorial de atributos para la textura de las muestras de leche deslactosada.

### 3.3.2 Perfil flash para matriz base bebida de soya

Durante la primera sesión del perfil flash, se generaron 57 atributos sensoriales para un total de 27 términos. Por lo tanto, en los ejes 1-2 del ACP se obtuvo más del 85% de la variación total de los datos en las cuatro categorías y con ello se mostró una clara separación de la muestra texturizada sabor arroz con leche respecto a la bebida de soya sabor natural.

#### ► Aspecto

De acuerdo a la Fig. 43, se observa que el componente 1 (dado principalmente por color y grumosisidad) explica el 71.27% y el componente 2 (principalmente brillo y homogeneidad) el 24.92% entre ambos explican el 96.19% de la variabilidad de las muestras. Al texturizar la bebida de soya con fécula de maíz se vuelve un producto menos brillante, más grumoso y homogéneo.

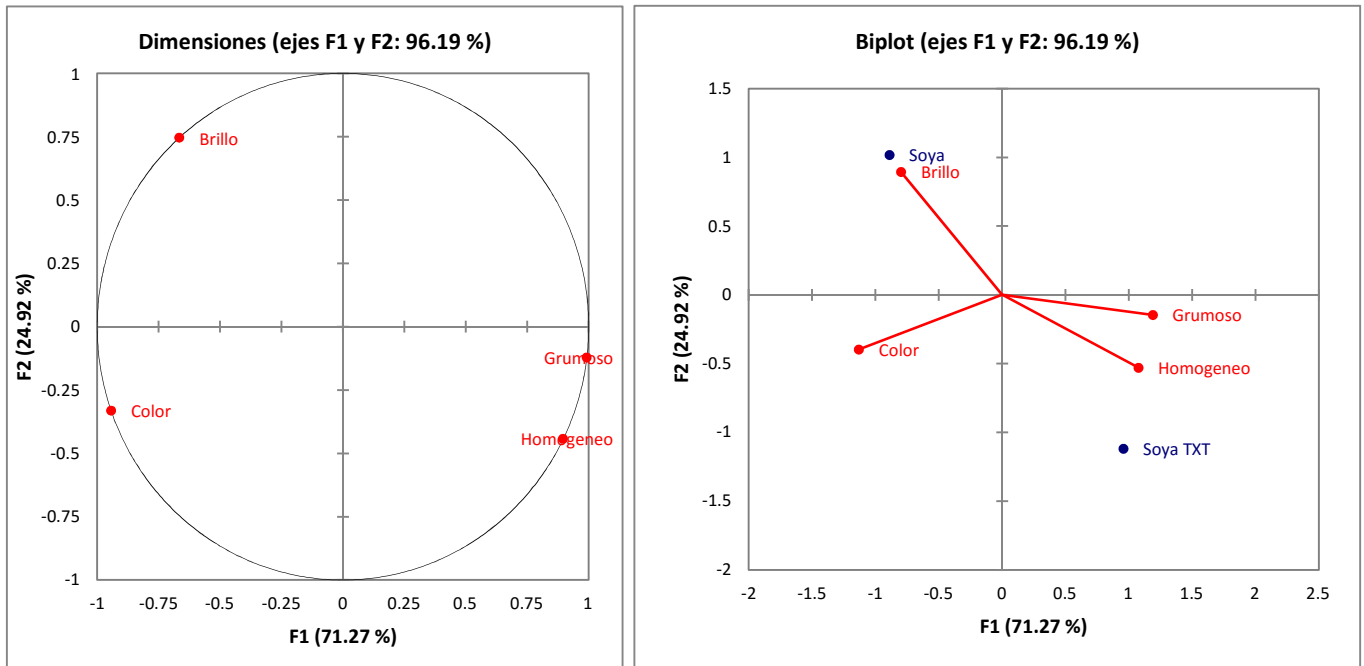


Figura 43. Espacio sensorial de atributos para el aspecto de las muestras de bebida de soya.

► **Olor**

En la Fig. 44, se observa que el componente 1 (dado principalmente por los olores arroz, canela, lácteo, soya y vainilla) explica el 58.76% y el componente 2 (principalmente ácido, soya y vainilla) el 36.14% entre ambos explican el 94.89% de la variabilidad de las muestras. De acuerdo a los resultados, existe un impacto en el olor de las muestras al modificar su textura; la bebida de soya tiene un olor más lácteo, a soya, dulce y a vainilla; mientras que el producto modificado tiene un olor a arroz y canela ligeramente ácido.

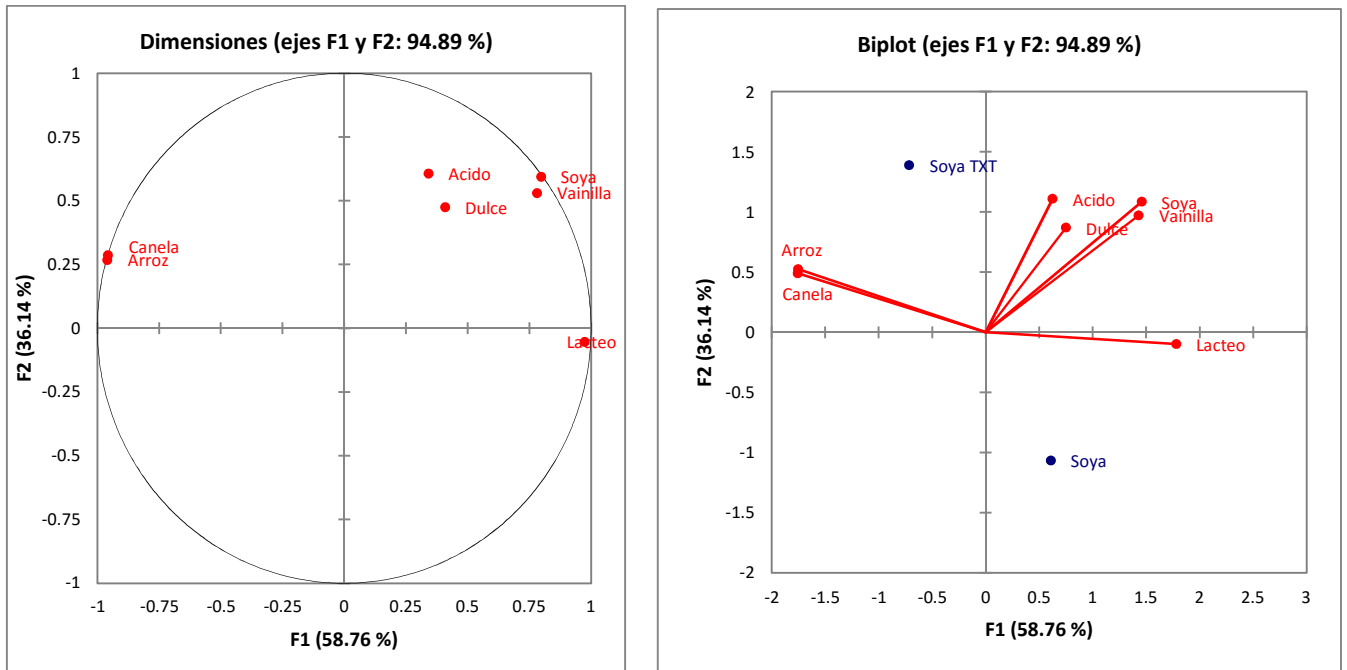


Figura 44. Espacio sensorial de atributos para el olor de las muestras de bebida de soya.

► **Sabor**

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por un sabor dulce, resabio dulce y metálico y sabor a cereal) explica el 63.49% y el componente 2 (principalmente a canela, natilla, vainilla y maizena) el 22.05%, entre ambos explican el 85.54% de la variabilidad de las muestras.

Como se puede observar en la Figura 45, la muestra sin texturizar tiene un sabor más dulce, a cereal y a vainilla con un resabio metálico. El perfil de sabor cambia a cereal, canela, astringente, maizena, natilla y un resabio dulce al texturizar la bebida.

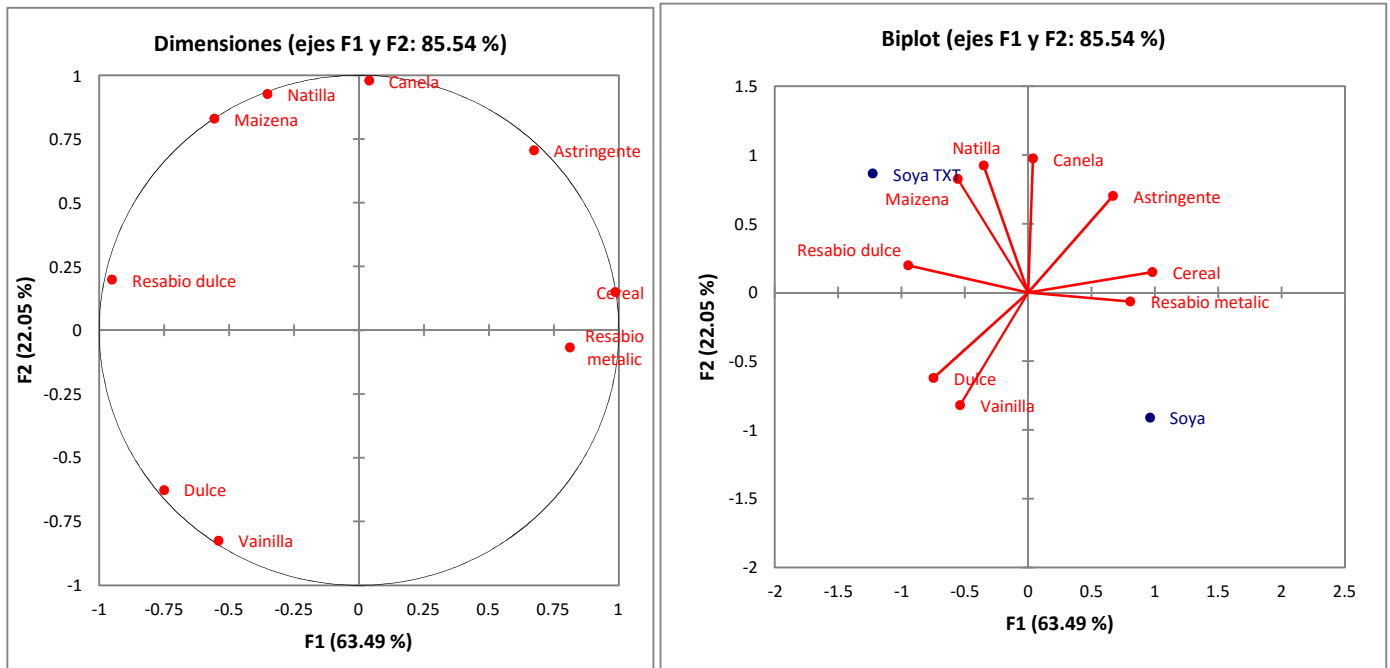


Figura 45. Espacio sensorial de atributos para el sabor de las muestras de bebida de soya.

### ► Textura

Tal como se observa en la Figura 46, el componente 1 (dado principalmente por atributos como espeso, grueso, cremoso, adhesivo y resabio en garganta) explica el 73.17% y el componente 2 (principalmente sensación grasa, adhesivo y arenoso) el 19.94%, entre ambos explican el 93.11% de la variabilidad de las muestras. Por lo tanto, al texturizar la bebida, se intensifica la arenosidad, adhesión, resabio en garganta, sensación grasa, consistencia y cremosidad.



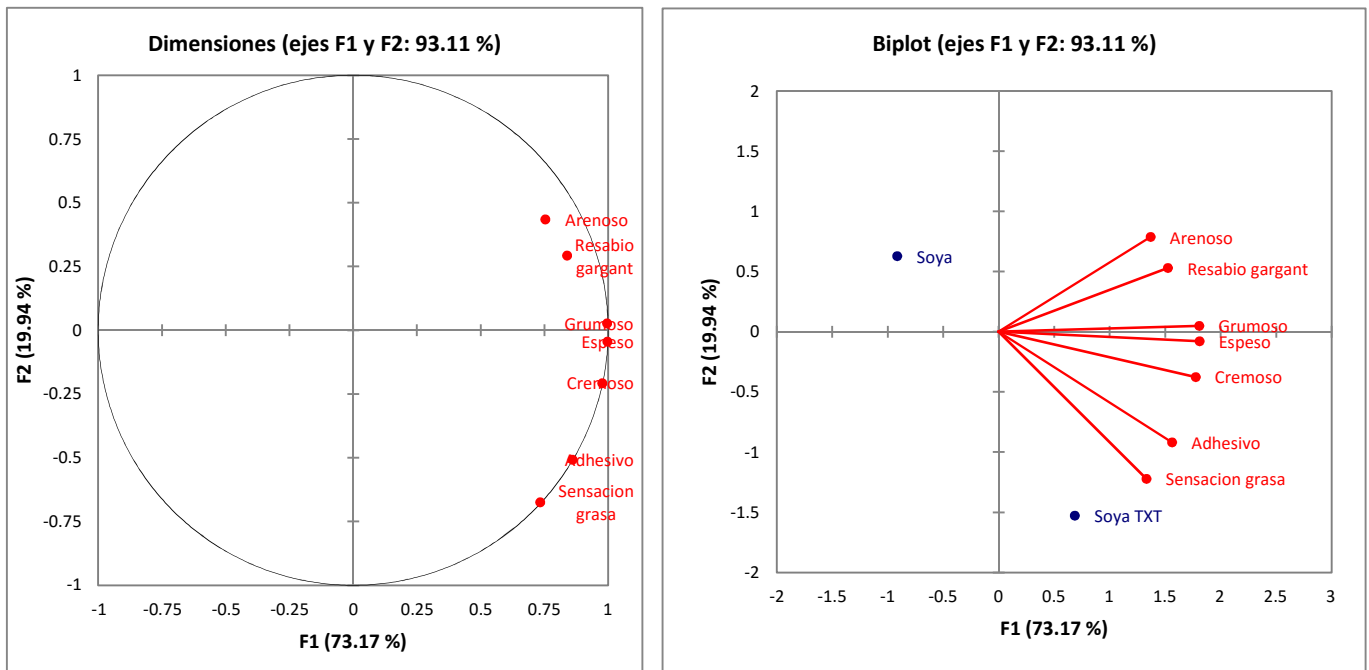


Figura 46. Espacio sensorial de atributos para la textura de las muestras de bebida de soya.

### 3.3.3 Perfil flash para matriz base leche light

Durante la primera sesión del perfil flash, se generaron 47 atributos sensoriales para un total de 24 términos. Por lo tanto, en los ejes 1-2 del ACP se obtuvo más del 85% de la variación total de los datos en las cuatro categorías y con ello se mostró una clara separación de las muestra texturizada sabor vainilla respecto a la leche light

#### ► Aspecto

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por color, homogeneidad, corteza y las burbujas) explica el 72.61% y el componente 2 (principalmente corteza y burbujas) el 23.88% entre ambos explican el 96.49% de la variabilidad de las muestras. En la Figura 47 se puede observar que en el aspecto las muestras de leche son diferentes de las muestras texturizadas es decir, el texturizar la leche light modifica el aspecto y se vuelve un producto amarillo, grumoso y menos homogéneo que la matriz original.

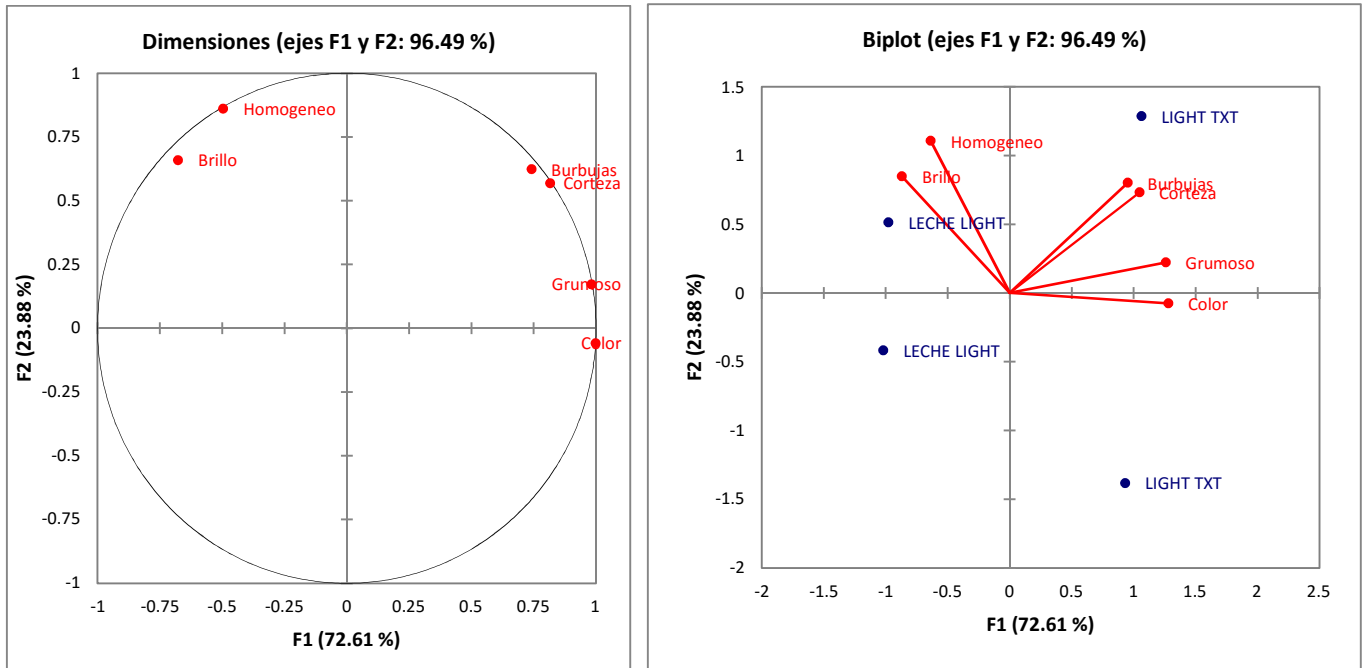


Figura 47. Espacio sensorial de atributos para el aspecto de las muestras de leche light.

### ► Olor

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por los olores dulce, lácteo, vainilla y ácido) explica el 74.58% y el componente 2 (principalmente componente ácido y mantequilla) el 18.46% entre ambos explican el 93.05 % de la variabilidad de las muestras. De acuerdo a los resultados, existe un impacto en el olor de las muestras al modificar su textura; la leche light tiene un olor característico a leche, identificándose olor ácido y lácteo, mientras que el producto modificado tiene un olor dulce, y a vainilla (Figura 48).

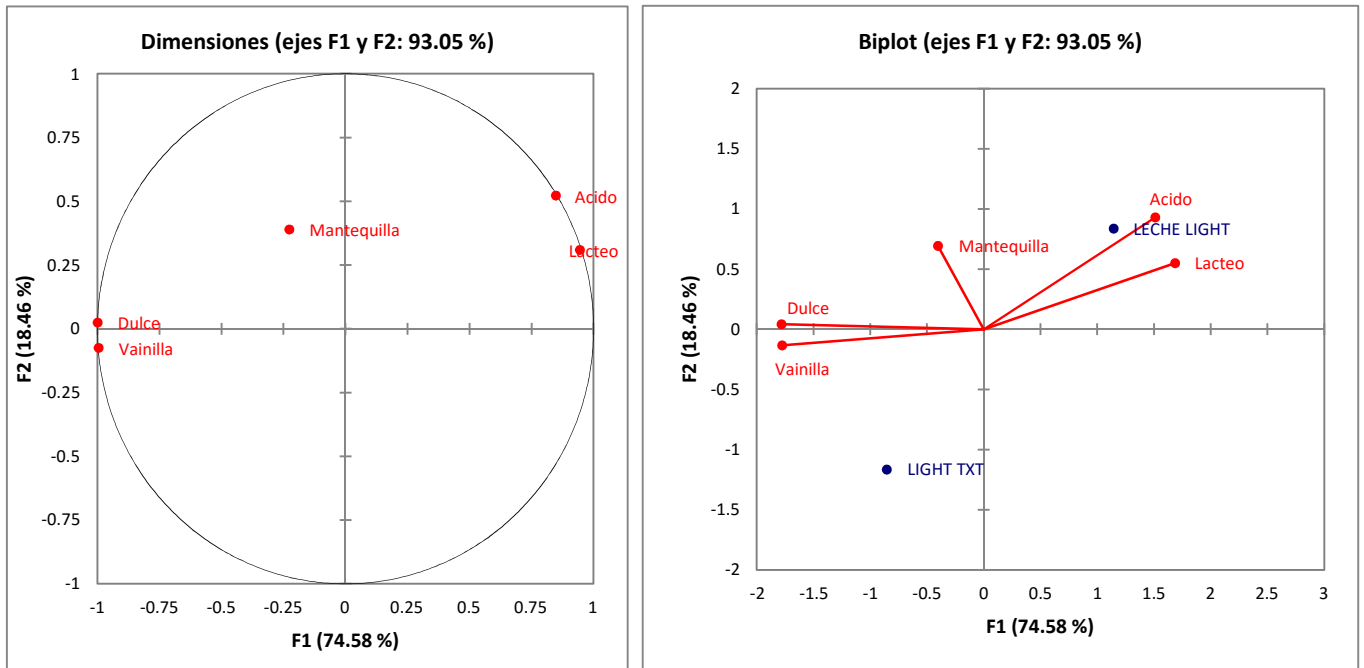


Figura 48. Espacio sensorial de atributos para el olor de las muestras de leche light.

### ► Sabor

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por el sabor a leche, leche condensada y vainilla y dulce) explica el 50.67% y el componente 2 (principalmente componente salado, ácido, dulce y maicena) el 34.72% entre ambos explican el 85.39 % de la variabilidad de las muestras.

En la Figura 49 se puede observar que el texturizar las muestras modifica el sabor; por lo tanto se modifica el perfil de un producto con sabor dulce y a leche condensada y ácido a un producto con sabor salado, a vainilla y maicena.

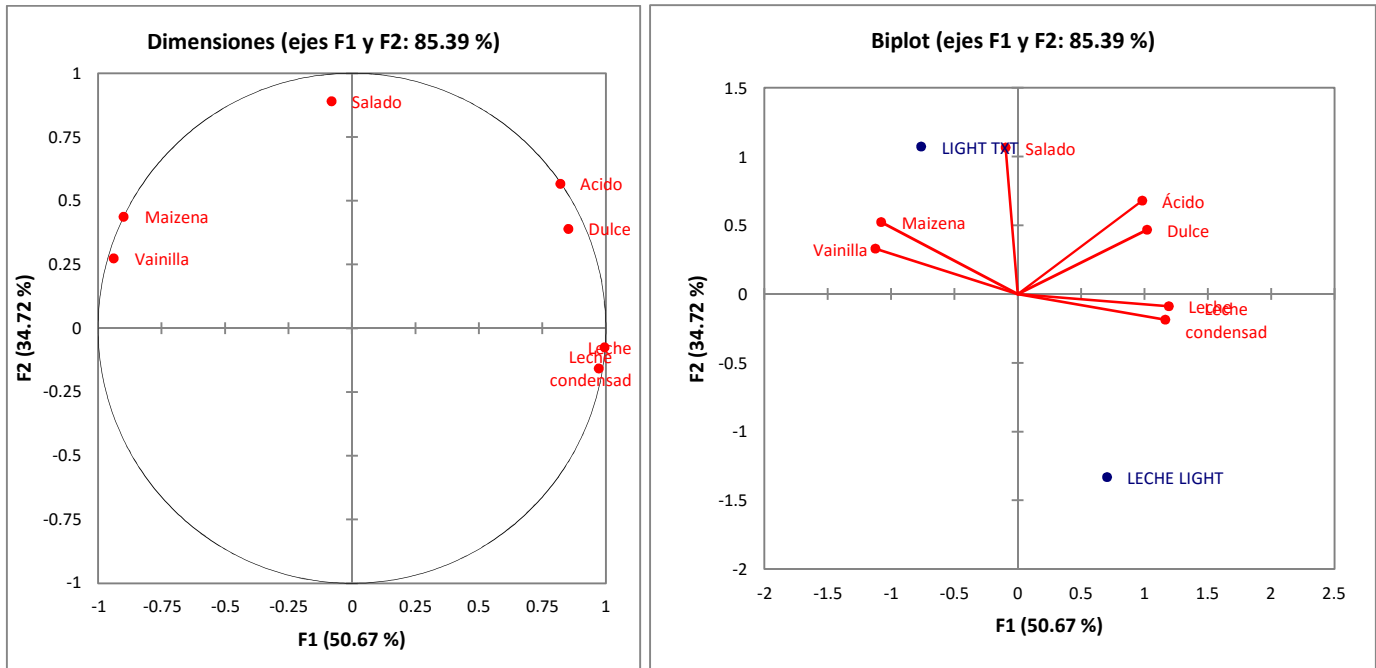


Figura 49. Espacio sensorial de atributos para el sabor de las muestras de leche light.

### ► Textura

En la Fig. 50, se observa que el componente 1 (dado principalmente por atributos como viscoso, sensación grasa, grumoso, arenoso y adhesivo) explica el 80.85% y el componente 2 (principalmente resbalar al deglutir) el 13.37%, entre ambos explican el 94.22% de la variabilidad de las muestras. Por lo tanto, al texturizar la bebida, se intensifica la adhesión, sensación, grasa, grumos, viscosidad y arenosidad del producto.

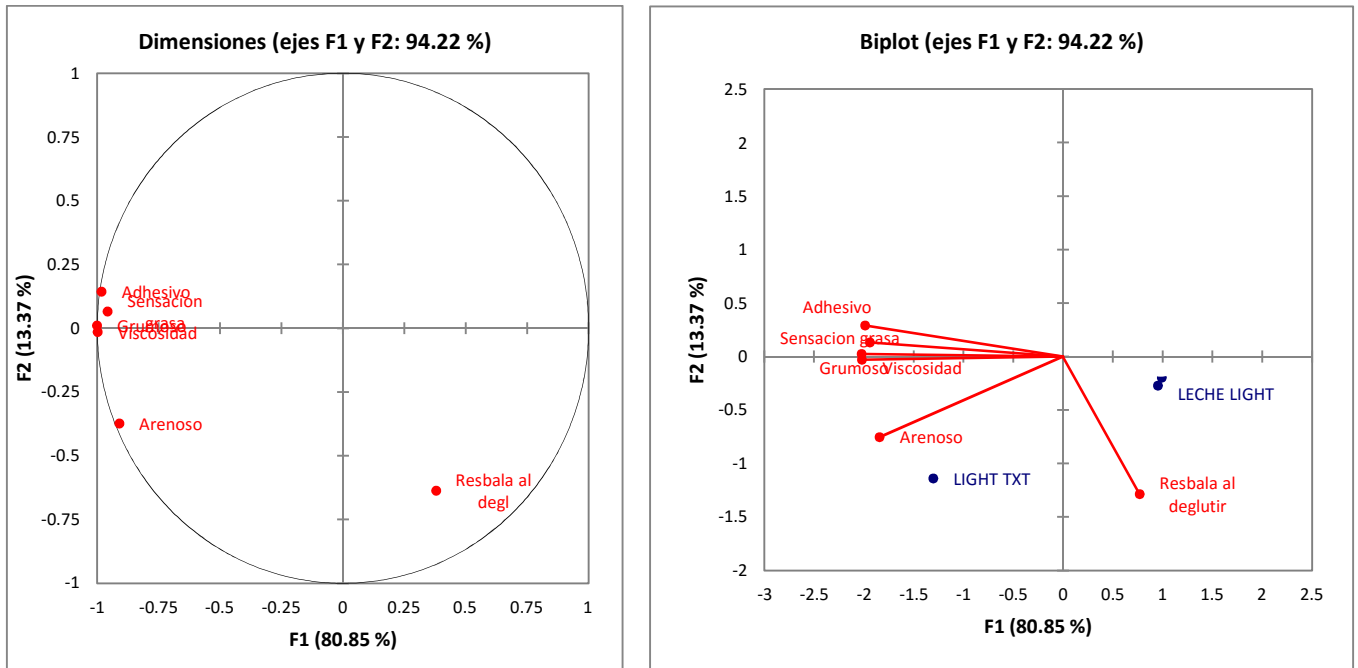


Figura 50. Espacio sensorial de atributos para la textura de las muestras de leche light.

### 3.3.4 Perfil flash para matriz base bebida de jugo de manzana

Durante la primera sesión del perfil flash, se generaron 60 atributos sensoriales para un total de 27 términos. Por lo tanto, en los ejes 1-2 del ACP se obtuvo más del 82% de la variación total de los datos en las cuatro categorías y con ello se mostró una clara separación de la muestra texturizada respecto a la bebida de jugo de manzana.

#### ► Aspecto

Tal como se muestra en la Figura 51, el componente 1 (dado principalmente por color, viscosidad, homogeneidad, aspecto gelatinoso y traslucido, brillo, turbidez) explica el 89.19% y el componente 2 (principalmente brillo) el 8.24% entre ambos explican el 97.43% de la variabilidad de las muestras. Al texturizar la bebida de jugo de manzana no sólo se modifica la consistencia del producto sino también su aspecto. La muestra sin texturizar tiene una apariencia homogénea y brillante más colorida; en cambio, la muestra con fécula de maíz presenta un aspecto turbio y viscoso.

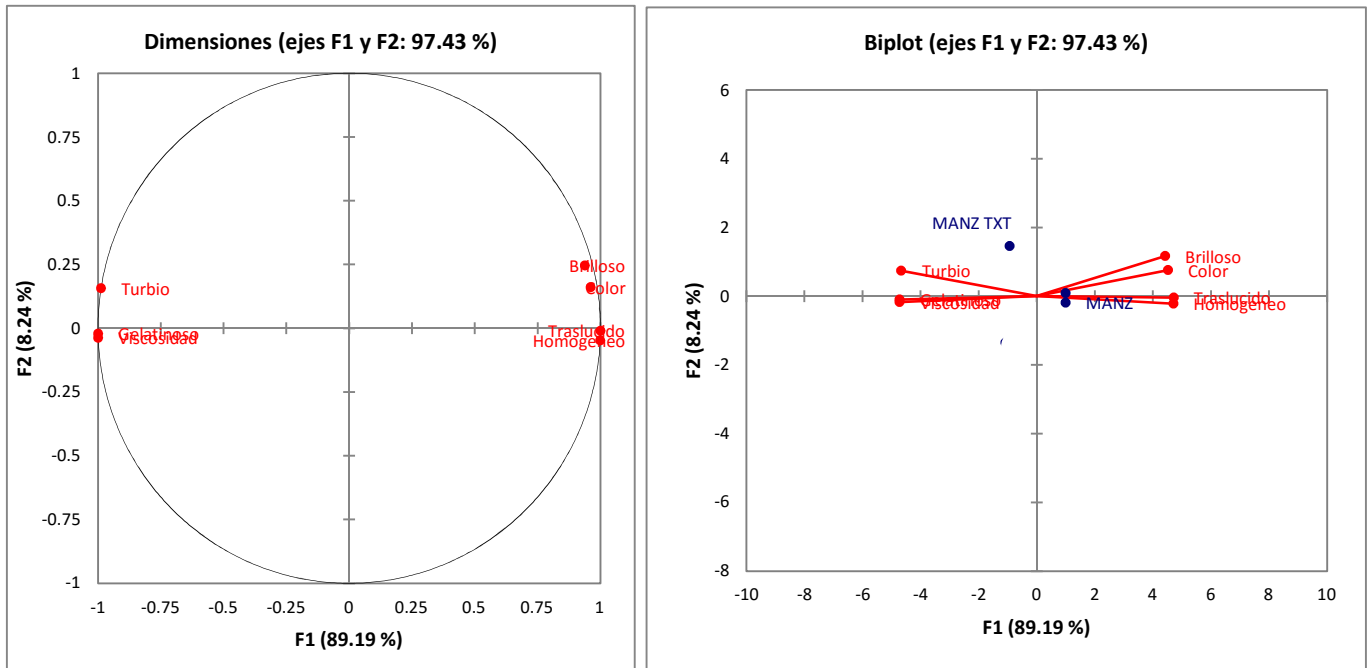


Figura 51. Espacio sensorial de atributos para el aspecto de las muestras de bebida de manzana.

### ► Olor

De acuerdo a la Figura 52, se observa que el componente 1 (dado principalmente por olor fermentable, dulce y a manzana) explica el 58.36% y el componente 2 (principalmente a vainilla y nota a almidón) el 30.57%, entre ambos explican el 88.93% de la variabilidad de las muestras. De acuerdo a los resultados, existe un impacto en el olor de las muestras al modificar su textura; la muestra sin texturizar tiene un olor astringente, dulce y a manzana, mientras que al texturizarla el perfil de sabor disminuye estas características y genera un perfil más cítrico y fermentable.

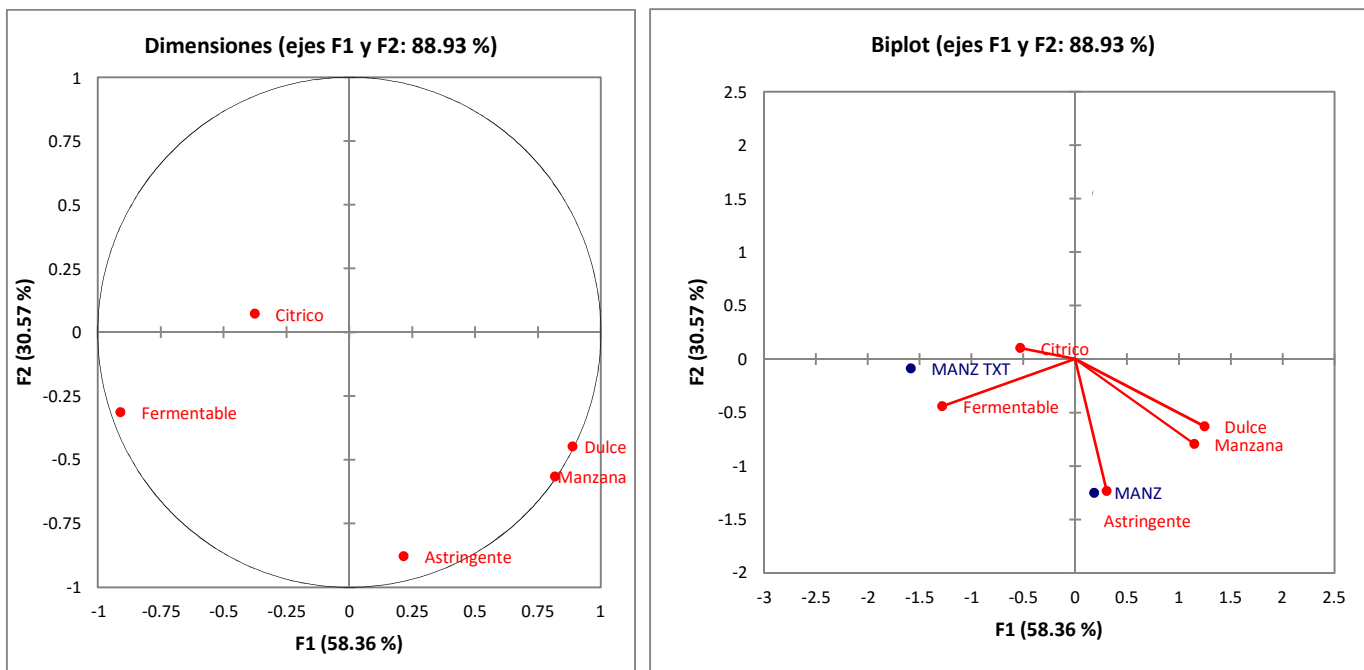


Figura 52. Espacio sensorial de atributos para el olor de las muestras de bebida de manzana.

► Sabor

El componente 1 (dado principalmente por un resabio metálico, ácido y dulce, una nota herbal, picante, sabor a manzana) explica el 50.20% y el componente 2 (principalmente a dulce, almidón y ácido) el 32.59%, entre ambos explican el 82.80% de la variabilidad de las muestras.

En la Figura 53 se puede observar que el texturizar las muestras modifica el sabor, pues se cambia el perfil de un producto con sabor dulce y un resabio dulce, resabio ácido y sabor manzana, mientras que al texturizarla el perfil de sabor cambia a sabores herbales, almidón, resabio metálico y picante.

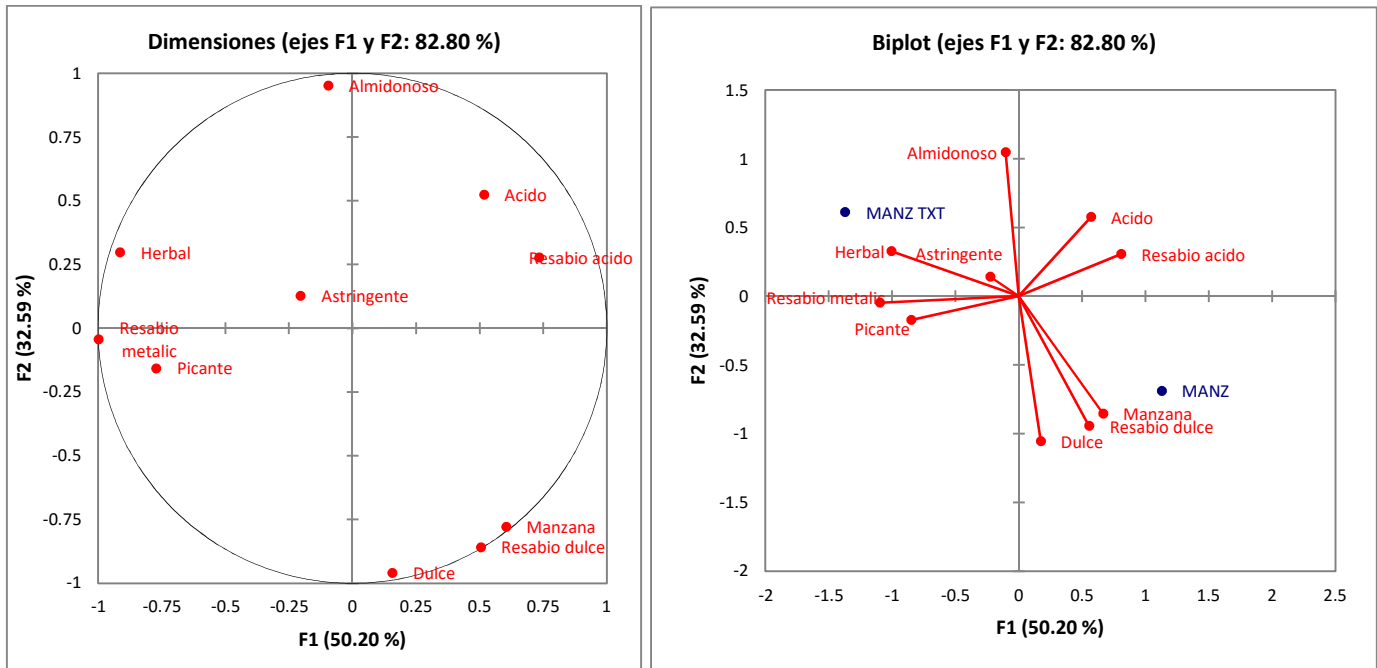


Figura 53. Espacio sensorial de atributos para el sabor de las muestras de bebida de manzana.

### ► Textura

Se observa que el componente 1 (dado principalmente por atributos como viscosidad, grumosidad, arenosidad, cremosidad, y que es resbaloso al deglutir) explica el 50.2% y el componente 2 (principalmente grumosidad) el 15.42%, entre ambos explican el 96.63% de la variabilidad de las muestras. En la textura las muestras de jugo de manzana son diferentes a las muestras texturizadas. El jugo modificado presenta con mayor intensidad los atributos como resbalar al deglutir, grumosidad, cremosidad, arenosidad y viscosidad (Fig. 54).



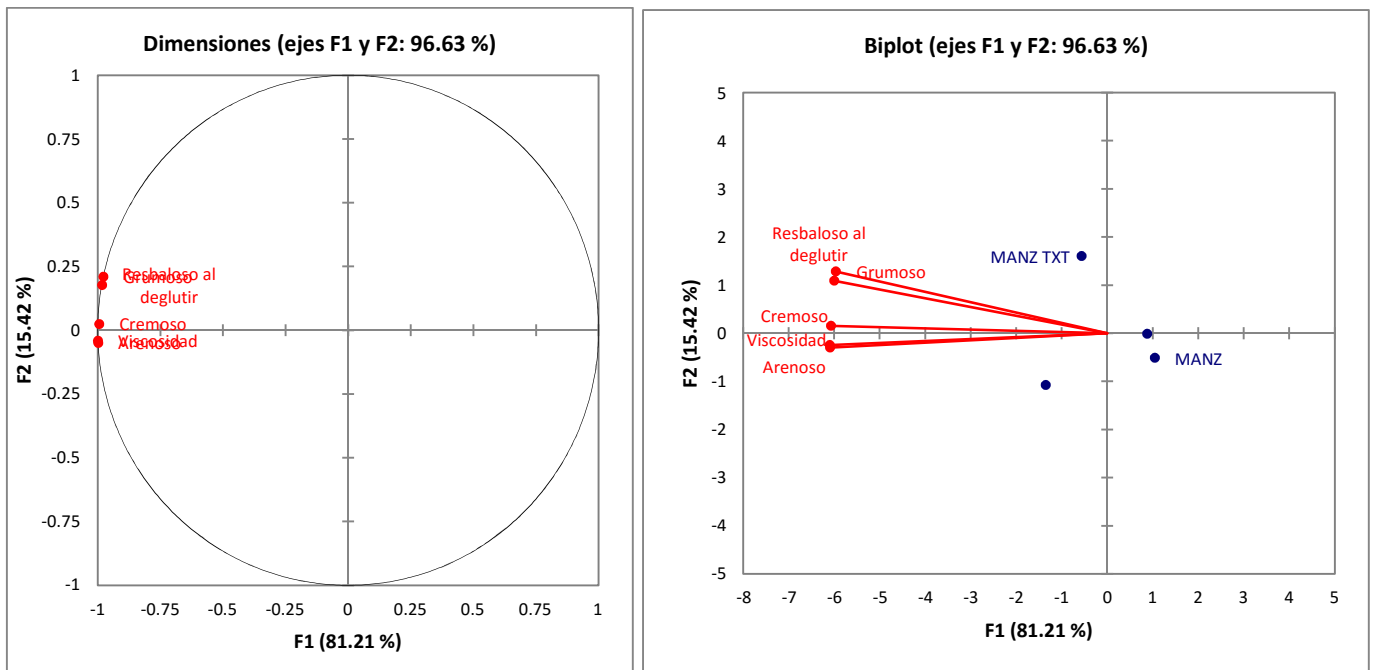


Figura 54. Espacio sensorial de atributos para la textura de las muestras de bebida de manzana.

### 3.3.5 Resumen general de resultados perfil flash

Como era esperado, las cuatro bebidas espesadas con la fécula de maíz comparten características como el sabor a almidón, alta viscosidad percibida y la textura arenosa y grumosa, lo cual se relaciona a la consistencia y preparación de este producto. Además se observó que al espesar la bebida, los sabores principales de la bebida como dulce, ácido y resabio ácido y dulce son suprimidos y aparecen características como resabio metálico, sabor salado, cremosidad y astringencia, ejemplo de ello es la leche deslactosada con azúcar añadida y la leche light, que fueron percibidas como muestras muy dulces (leche condensada) y al texturizarlas sólo se percibió el sabor a chocolate/arroz y canela y el sabor a almidón. Estos datos coinciden con estudios previos donde se menciona que este efecto es más notorio en la consistencia tipo miel [Matta et al., 2006]. Por otra parte, se observó que las muestras texturizadas presentaron un olor más intenso que su sabor.

Asimismo, se considera que al añadir la fécula con sabor, se crea un producto con un perfil diferente en los cuatro aspectos estudiados y que el perfil es diferente para cada matriz espesada. Por ejemplo, se observó que se obtiene una menor cantidad

de grumos y un producto más homogéneo con la leche deslactosada y la bebida de soya que con la leche light o la bebida de jugo.

### 3.4 Nivel de agrado de matrices seleccionadas

Para realizar los estudios de nivel de agrado, se consideró una población de 60 consumidores (22 hombres y 38 mujeres entre 19 y 33 años) utilizando las muestras texturizadas sabor chocolate y sabor arroz con leche y tomando como referencia la leche deslactosada y la bebida de soya utilizando una escala hedónica de 9 puntos, además de un cuestionario de hábitos de consumo (Figuras 55-60), evaluación de las muestras (Fig. 61-66) y preguntas finales (Anexo 3).

#### 3.4.1. Hábitos de consumo de los consumidores

En la Figura 55 se muestra que más del 80% de los entrevistados consumen producto lácteos de 2 a 3 veces por semana, siendo la leche entera la más consumida (Fig. 56) y donde sólo un pequeño porcentaje de mujeres consume leche light.

Por otro lado la consistencia tipo néctar fue la favorita, seguida del pudín (Fig. 57), lo que coincide con el alto consumo de atoles y natillas (Figuras 58 y 59), además, aproximadamente la mitad de los entrevistados mencionó haber consumido bebidas texturizadas al menos una vez (Fig. 60). Asimismo, la textura que se debía probar resultó la menos preferida por los consumidores (miel).

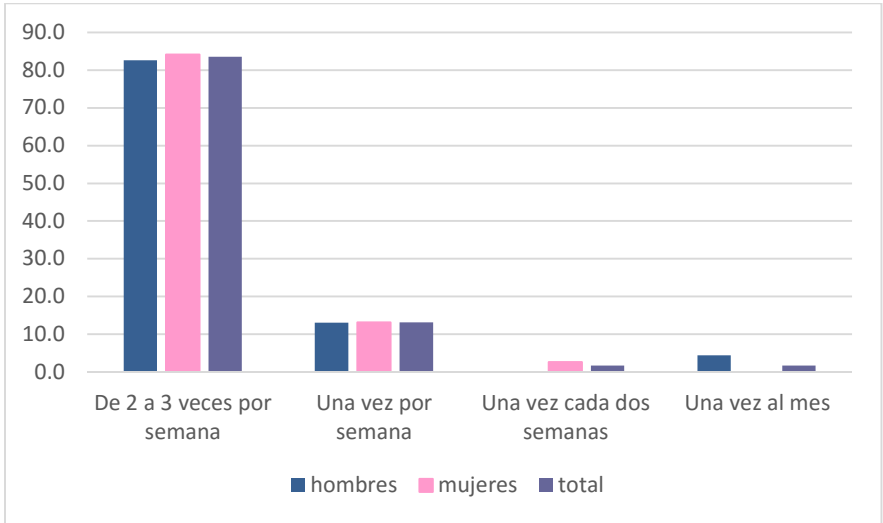


Figura 55. Porcentaje de frecuencia de consumo de productos lácteos expresada en porcentaje.

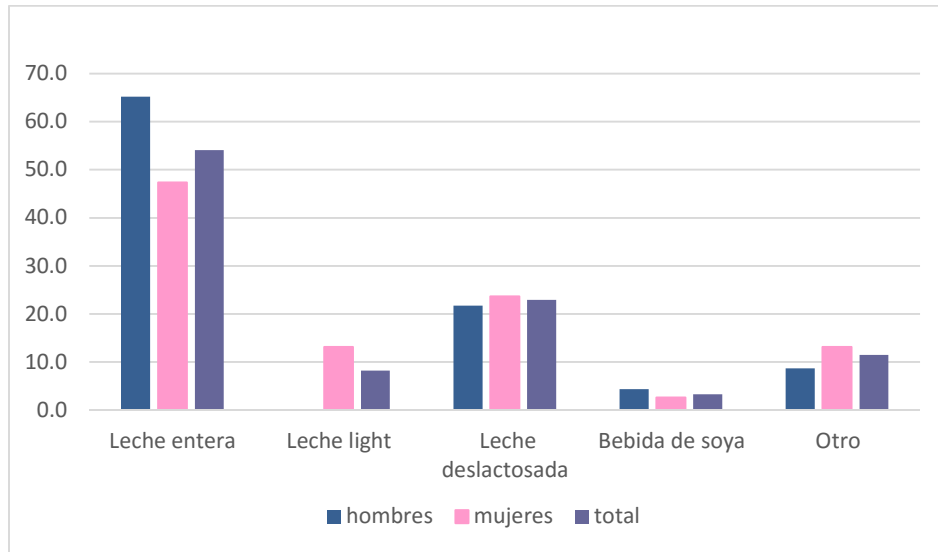


Figura 56. Frecuencia de consumo de tipo de leche y/o productos lácteos en porcentaje.

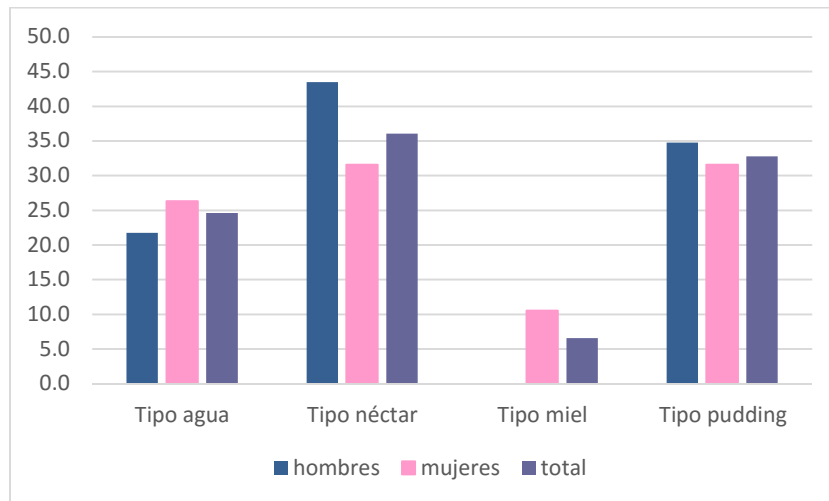


Figura 57. Frecuencia de consistencia preferida por los consumidores expresada en porcentaje.

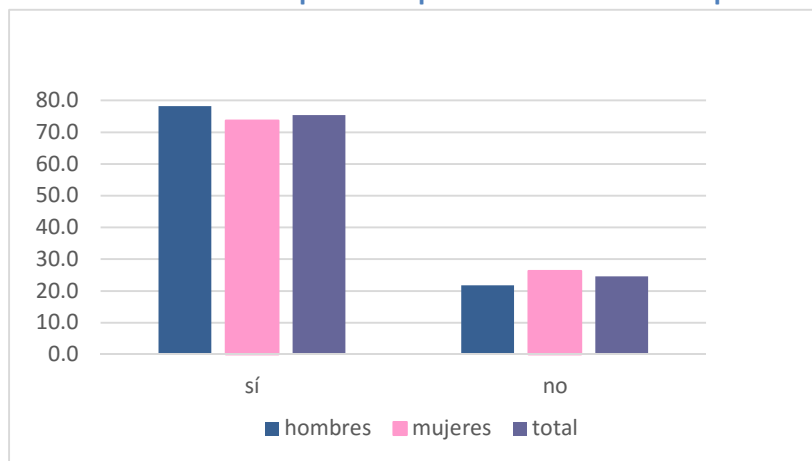
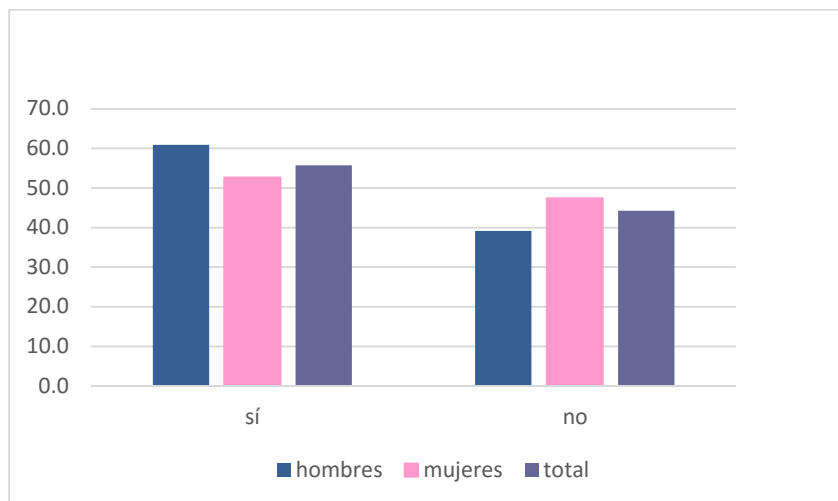
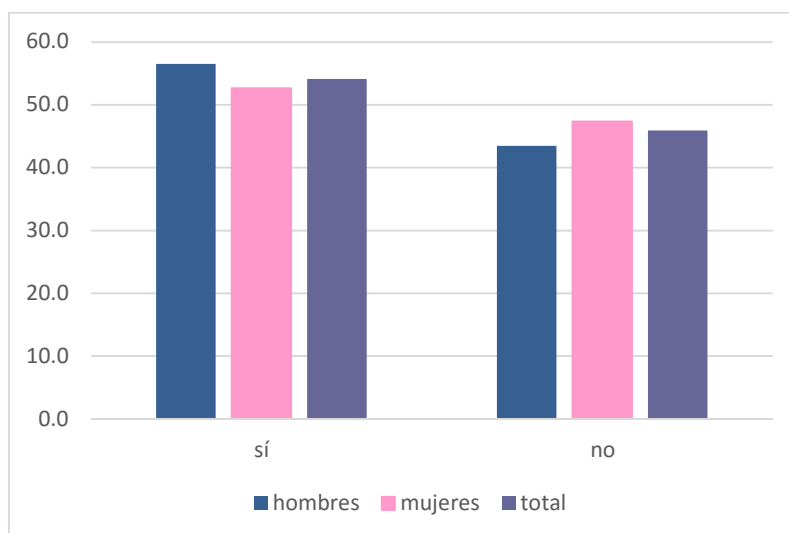


Figura 58. Frecuencia de consumo de atoles expresada en porcentaje.



**Figura 59. Frecuencia de consumo de natillas expresada en porcentaje.**



**Figura 60. Consumo de bebidas texturizadas expresado en porcentaje.**

Debido a la especificidad del problema a tratar, no fue posible realizar el estudio con la población de pacientes con disfagia, ante la dificultad de conseguir una cantidad significativa para realizarlo; sin embargo, para conocer de forma general el nivel de agrado entre el producto sin espesar y el producto modificado con población sana resultó útil generar una comparación de nivel de agrado entre el producto sin espesar y el producto modificado, para determinar el papel de la textura en el agrado del producto. Se espera a futuro evaluar a pacientes con disfagia para comparar los resultados y conocer si estos productos tendrán éxito como alimentos prescritos para esta enfermedad.

### 3.4.2 Resultados evaluación Nivel de agrado

Las pruebas de análisis estadístico realizadas se muestran en el Anexo 4. A continuación se presentan los resultados de dicho análisis para cada atributo.

#### ► Apariencia

En la Figura 61 se muestran los resultados de nivel de agrado para la apariencia, encontrándose que la muestra sabor chocolate fue la que menos gustó a los consumidores (me disgusta levemente). Cabe mencionar que de acuerdo al perfil sensorial, la muestra presentó una apariencia más oscura, homogénea y opaca. Por otra parte, las muestras sin espesar se encontraron cerca del punto me gusta moderadamente, debido a que la consistencia favorita del grupo de consumidores es la tipo agua; en contraste, la apariencia de las muestras texturizadas resultó poco atractiva; sin embargo, el aspecto de la matriz base soya fue considerado en el punto me gusta levemente.

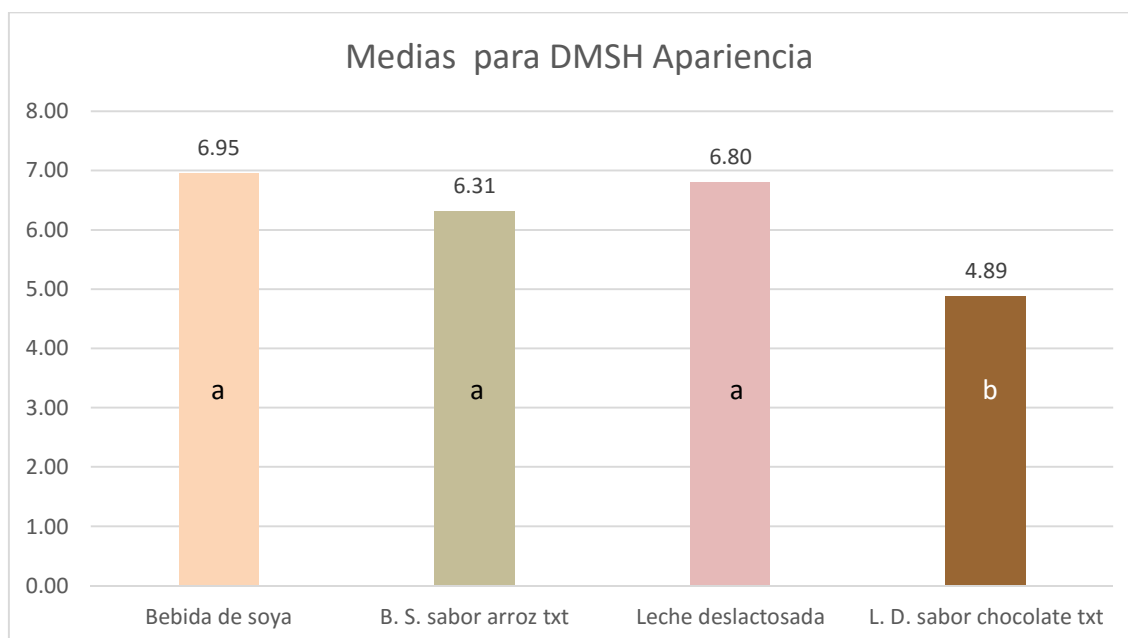


Figura 61. Comparación del nivel de agrado de apariencia entre las muestras estudiadas.

#### ► Olor

De acuerdo a la Figura 62, el olor de la muestra leche deslactosada fue menos apreciado por los consumidores, considerándose en el punto ni me gusta ni me disgusta, este resultado puede ser debido a su perfil de olor ácido y a leche cocida.

Se debe mencionar que el olor fue el atributo mejor evaluado por los consumidores y uno de los aspectos más mencionados en la pregunta 9 de la encuesta (¿Qué fue lo que más le gustó del producto?) con un porcentaje superior al 36% localizándose en el punto me gusta moderadamente en la escala para las muestras de bebida de soya, bebida de soya texturizada sabor arroz con leche y leche deslactosada texturizada sabor chocolate.

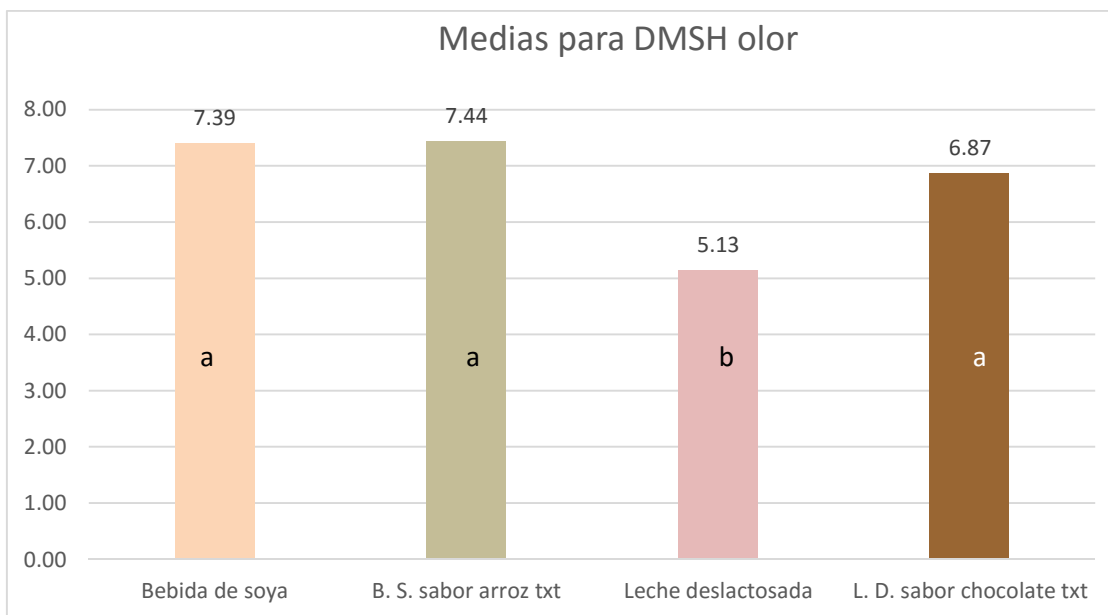


Figura 62. Comparación del nivel de agrado de olor entre las muestras estudiadas.

### ► Sabor

Como lo muestra la Figura 63 no se presentó diferencia significativa en la evaluación del nivel de agrado del sabor de las muestras, las cuales, se localizaron cerca del punto me gusta levemente. Por lo que aunque se disminuya el dulzor y resabio dulce de las muestras sin texturizar y aparezca un resabio metálico, cremosidad, sabor a almidón y sabor chocolate o arroz con leche, (dependiendo de la muestra) no se presentan cambios en la percepción hedónica de este atributo, que es uno de los más importantes para determinar el gusto de un producto.

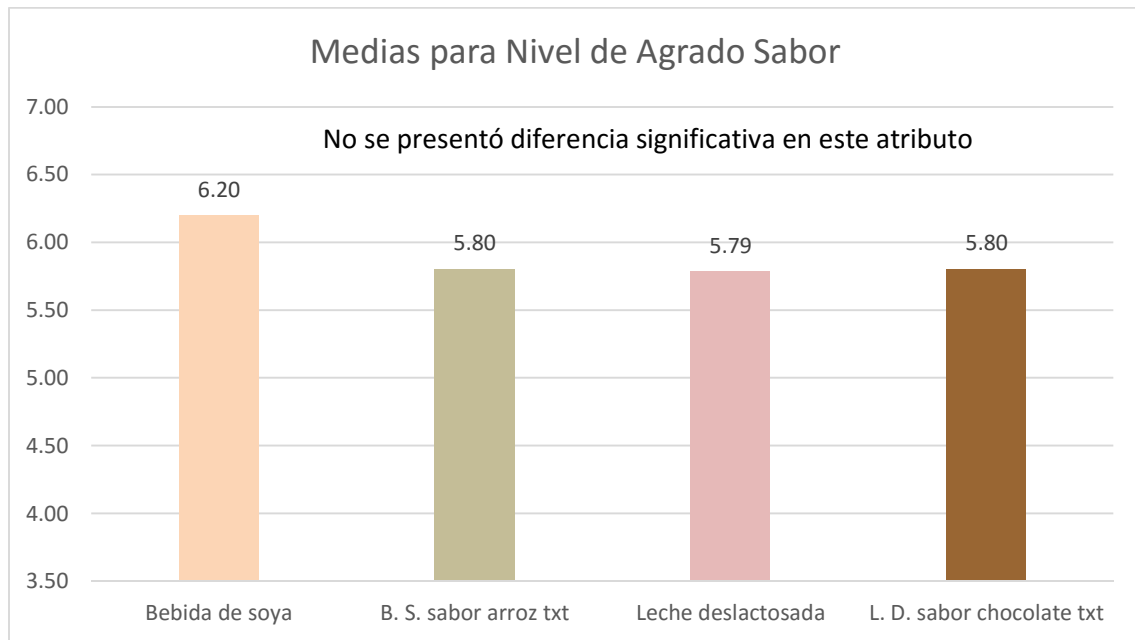


Figura 63. Comparación del nivel de agrado de sabor entre las muestras estudiadas.

### ► Textura

De acuerdo a la Figura 64, la textura de las muestras fue calificada en un punto entre me gusta levemente y ni me gusta ni me disgusta, encontrándose únicamente diferencia significativa de las muestras texturizadas con la muestra bebida de soya. Considerando que la textura tipo agua resultó más agradable para los panelistas en el cuestionario de hábitos de consumo, la calificación de la bebida de soya resultó más positiva al asemejarse más a este líquido. Además la influencia de un perfil de textura diferente en el análisis descriptivo, no influye notoriamente en el nivel de agrado de este atributo. Es decir el impacto al evaluar productos localizados en ejes opuestos en el espacio sensorial de textura para generar un producto consistencia tipo miel no implica un cambio sustancial en los resultados de las pruebas afectivas.

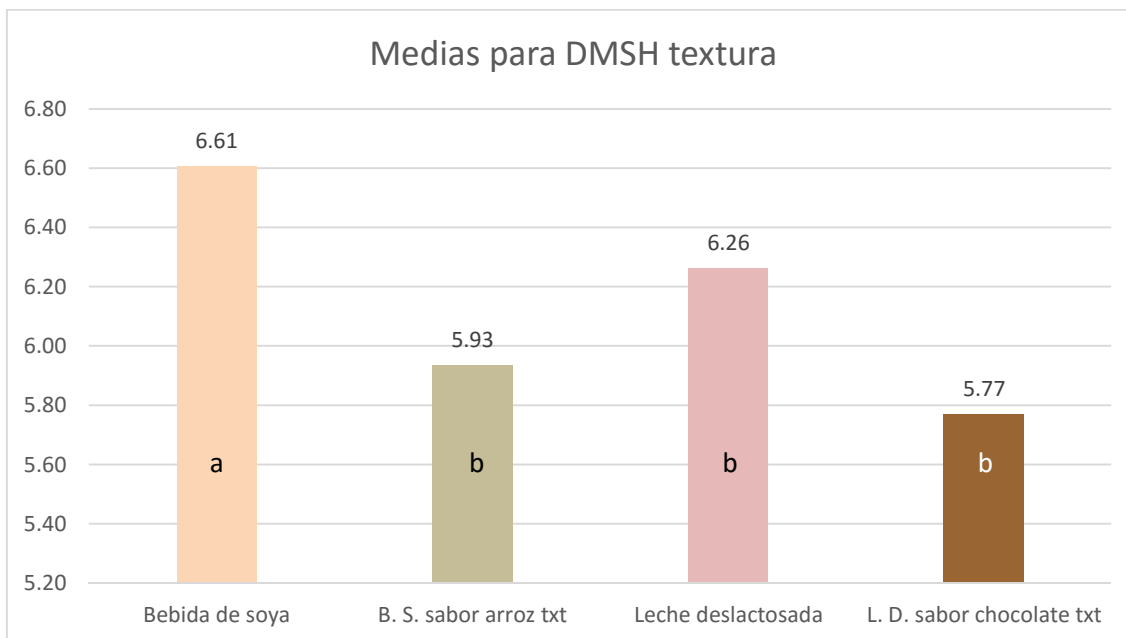


Figura 64. Comparación del nivel de agrado de textura entre las muestras estudiadas.

### ► Grumosidad

Uno de los aspectos importantes a considerar dentro de la evaluación sensorial realizada es la grumosidad, ya que es una característica indeseable dentro de los productos destinados a pacientes con disfagia, debido a que el manejar un producto grumoso o arenoso lo hace más difícil de deglutir y más peligroso para el paciente. La diferencia significativa hallada indica que al texturizar el producto aparecen grumos. Esto se debe a la elaboración del producto, donde es importante realizar un mezclado adecuado para evitar la formación de estos. Aparentemente, el atributo se sitúa en el punto ni me gusta ni me disgusta para las muestras texturizadas y me gusta levemente para las bebidas. De acuerdo al Perfil Flash, las muestras modificadas son homogéneas. Sin embargo en la pregunta 10 (Anexo 3), la frecuencia mayor de aspectos que más disgustaron de estos productos, fue la grumosidad. Los grumos se generaron al hidratar la fécula de maíz y no someter a una homogeneización constante y/o controlada del sistema, tal como en el tratamiento de muestra para la evaluación reológica indicada en la metodología.



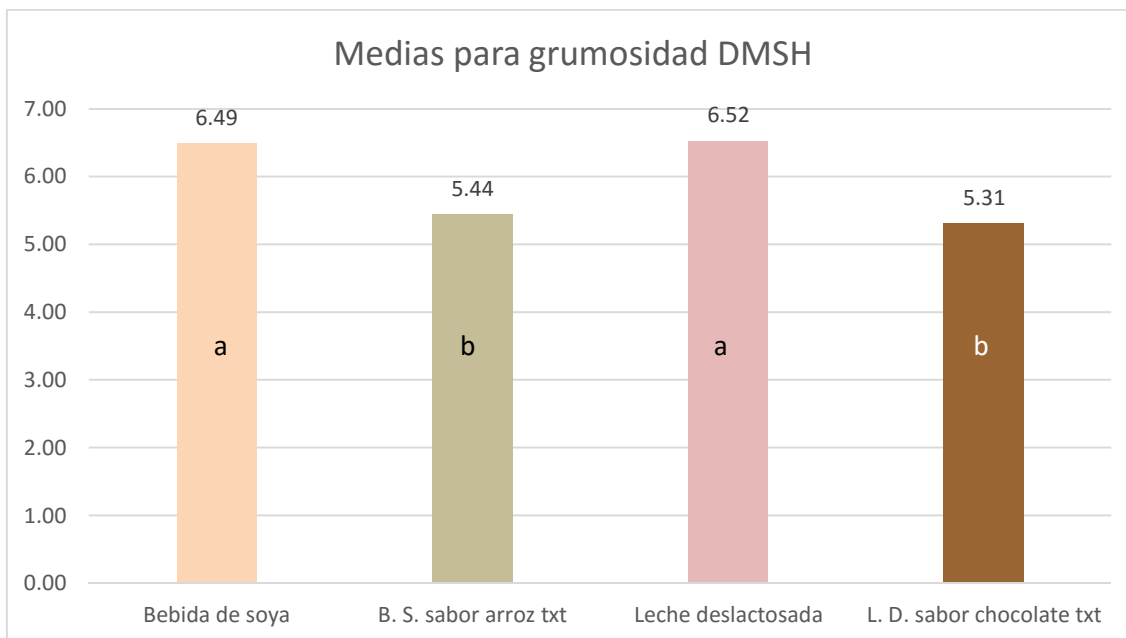
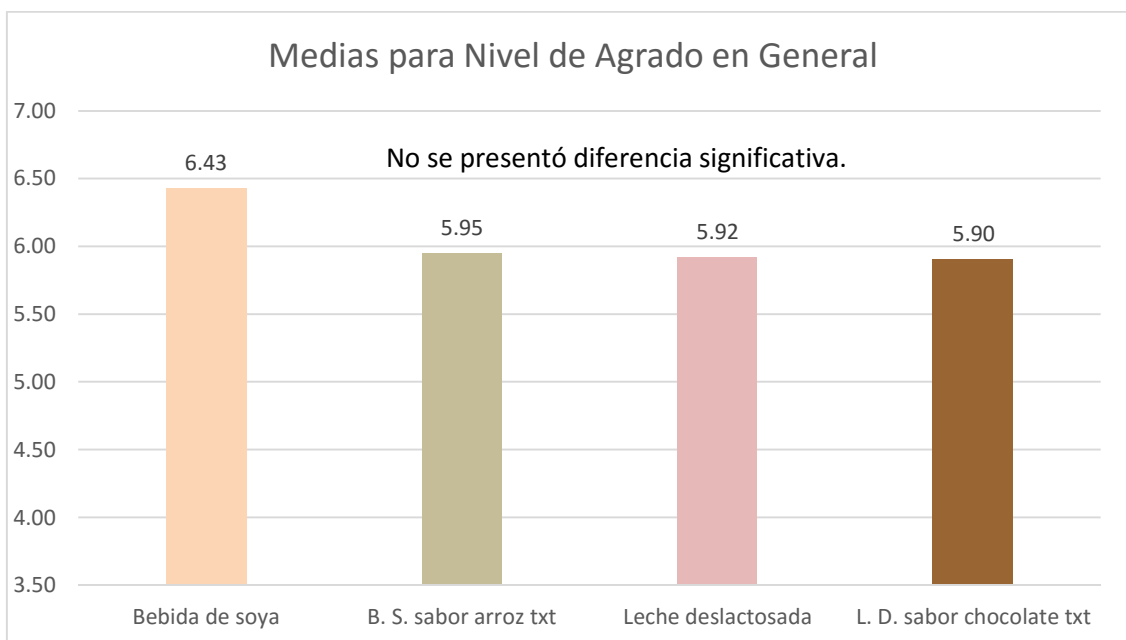


Figura 65. Comparación del nivel de agrado de grumosisidad entre las muestras estudiadas.

#### ► Nivel de agrado en general

Finalmente como lo indica la Figura 66, no se presentó diferencia significativa en la evaluación del nivel de agrado de los productos en general. Estos productos se localizaron cerca del punto me gusta levemente. Los resultados obtenidos son satisfactorios en la evaluación integral de las muestras, ya que los consumidores no habituales no reportan una tendencia de agrado mayor hacia los productos sin texturizar, por lo que los cambios realizados por el producto de fécula maíz resultan adecuados, descartando la influencia que tiene una consistencia no deseada por el consumidor respecto al agrado de los productos y colocando a la mayoría de los atributos evaluados en las puntuaciones 5 y 6.

Además, al término de la evaluación del producto se le preguntó al consumidor la sensación que describe al pasar el alimento, con un 77% describiéndolo como agradable, suave o fácil de deglutir, el 23% restante sintió un desagrado por el producto, haciendo un énfasis en la sensación de grumos a excepción de un consumidor que consideró que la textura era muy desagradable para pasar e incluso emético.



**Figura 66. Comparación del nivel de agrado de las muestras en general.**

La Tabla 22 muestra los aspectos positivos y negativos de los productos texturizados (preguntas 9 y 10 Anexo 3); destacando el sabor (48%), olor (36.6%) y textura (36.6%) como aspectos positivos y los grumos (35%), el sabor moderado (33.3%), textura (16.7%) y falta de dulzor (11.7%) como aspectos negativos, observándose variabilidad en la apreciación de sabor y textura de los consumidores, siendo los aspectos positivos los que presentan porcentajes superiores.

**Tabla 22. Aspectos positivos y negativos de los productos texturizados.**

Aspectos positivos		Aspectos negativos	
Aspecto	Frecuencia de mención	Aspecto	Frecuencia de mención
sabor	29	grumos	21
olor	22	sabor	20
textura	22	textura	10
apariencia	8	falta de dulzor	7
		apariencia	7
		falta de cuerpo	1

Finalmente, al preguntar al consumidor, si estaría dispuesto a incluir las bebidas texturizadas dentro de su dieta (Figura 67), el 78.6% indicó que lo haría. Con una

aceptación superior al 90% en hombres y una aceptación superior al 70% en mujeres.

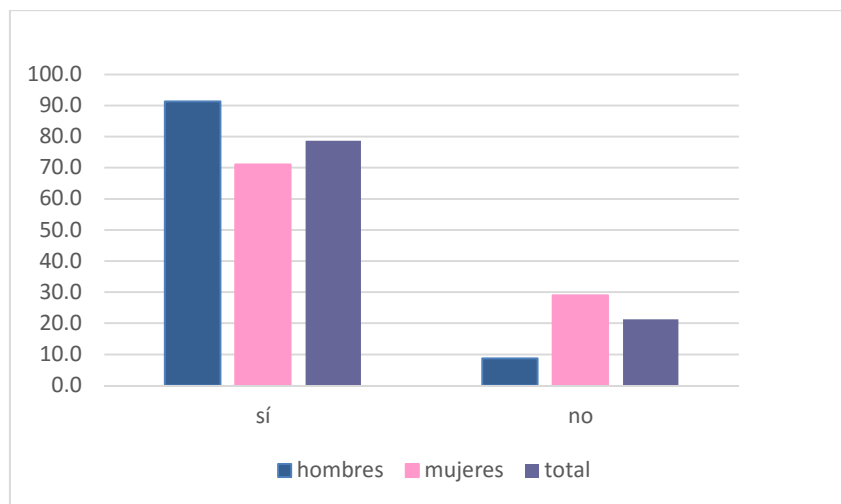


Figura 67. Frecuencia de respuesta sobre la inclusión del producto en la dieta del panelista.

### 3.4.3 Resumen general de resultados

A pesar que la bebida de soya mostró valores de nivel de agrado superiores a la bebida texturizada en los atributos seleccionados, sólo se presentó diferencia significativa entre el nivel de agrado de la textura y la grumosidad. Además la modificación de la consistencia de la bebida no genera cambios drásticos en la evaluación hedónica de este producto (Figura 68).

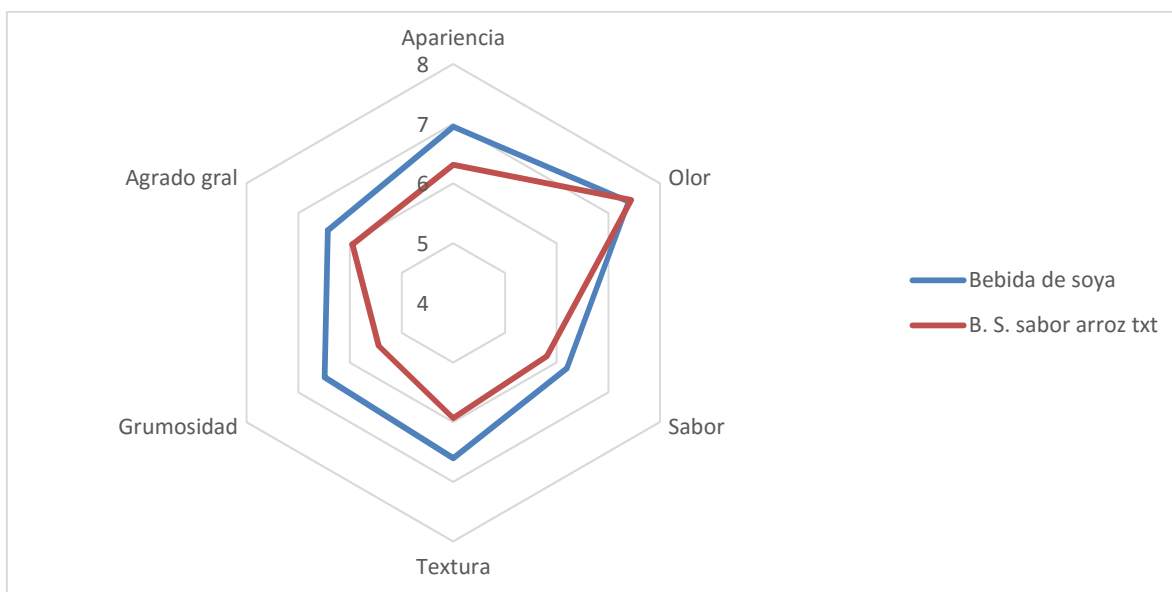
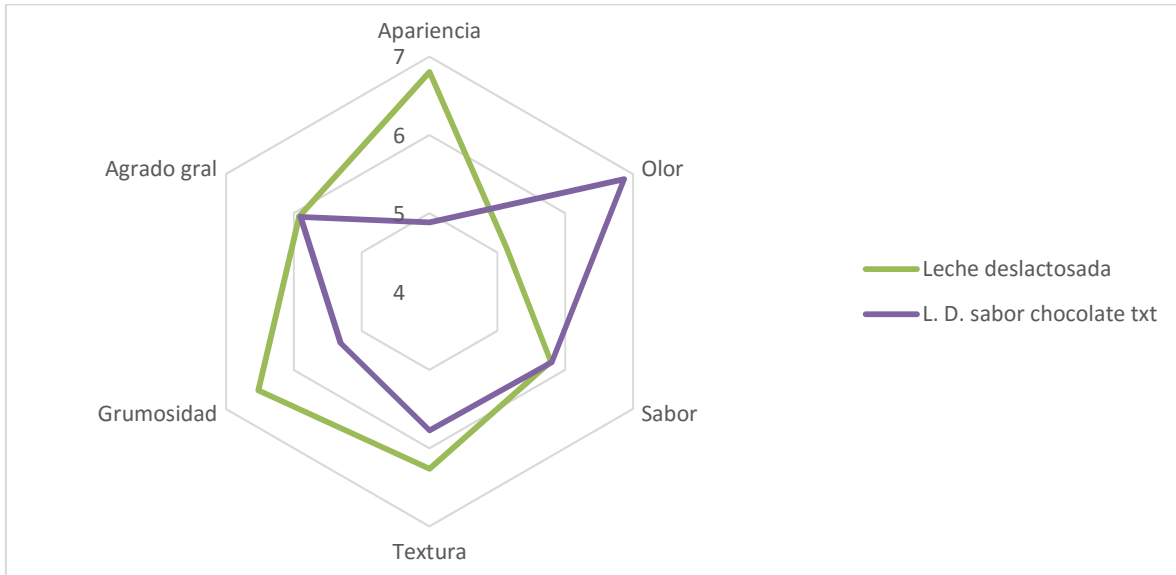


Figura 68. Gráfica de araña para comparación de resultados bebida de soya (Escala hedónica).

De acuerdo a la figura 69, se observa que la modificación de textura implica una mejoría en la apreciación del olor del producto texturizado y una disminución en la apreciación de apariencia y grumosisidad. Sin embargo, el agrado general de ambos productos se ve cercano al punto me gusta levemente en la escala hedónica.



**Figura 69. Gráfica de araña para comparación de resultados L. deslactosada (Escala hedónica).**

El ejercicio realizado con los consumidores que no padecen disfagia, aunado al perfil sensorial del producto permitió generar la base técnica de la información sensorial para establecer que este producto puede presentarse como alternativa para el manejo de disfagia presentando buena aceptación por parte de del grupo evaluador. Por otra parte, es necesario realizar una caracterización reológica que incluya tanto los esfuerzos de corte como ensayos viscoelásticos y esfuerzos de elongación comparándose con la referencia de BaSO<sub>4</sub> (Varibar®) para asegurar que los productos sean adecuados, es decir, que se cumpla con la seguridad de la deglución.

### 3.5 Caracterización reológica de productos seleccionados

#### 3.5.1 Reología de corte

Después de la evaluación sensorial, se evaluó el comportamiento reológico de los productos seleccionados y se comparó con los medios de referencia Varibar®. La Tabla 22 muestra que los productos tienen un índice de comportamiento de flujo reofluidizante similar al obtenido en las Tablas 16 y 18. Con el modelo de Ley de Potencia se obtuvieron los datos de viscosidad de  $50 \text{ s}^{-1}$  a  $100 \text{ s}^{-1}$  para cada muestra (Anexo 5) y se compararon con el medio de contraste de referencia miel, cuyos valores de viscosidad se aproximan a aquellos previamente obtenidos en el ejercicio anterior (Tablas 17 y 19).

De acuerdo a los resultados obtenidos, la viscosidad del producto con leche light fue superior a la consistencia tipo miel; lo que puede implicar que la viscosidad del producto supera la viscosidad requerida para utilizarlo en personas cuya disfagia sea leve sin generar un detrimento en la seguridad de su consumo.

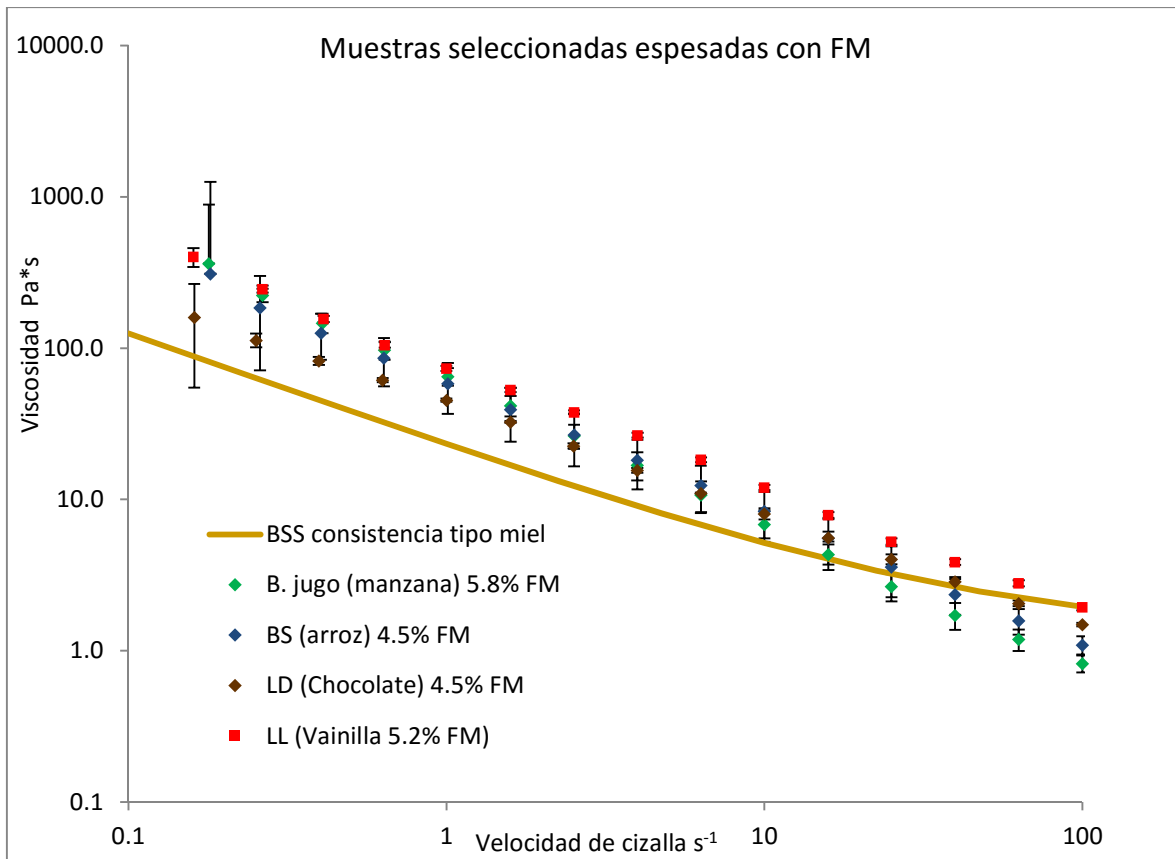


Figura 70. Curva de flujo para bebidas espesadas con fécula de maíz

**Tabla 23. Resumen de parámetros de regresión Ley de potencia.**

Matriz	Sabor	n-1	n	k (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
Bebida de soya	Arroz con leche	-0.843	0.157	20.533	0.9976
Leche deslactosada	Chocolate	-0.736	0.286	43.083	0.9996
Leche light	Vainilla	-0.814	0.186	79.178	0.9988
Bebida de jugo	Manzana	-0.966	0.034	64.012	0.9995

**Tabla 24. DMSH para el promedio de viscosidad de las matrices espesadas con fécula de maíz.**

Sabor	Consistencia Miel	B. de jugo (manzana)	Leche deslactosada (chocolate)	Leche light (vainilla)	Bebida de soya (arroz)
Resultados	1.63	1.02	1.84	2.43	1.51
	b	c	b	a	b

Debe mencionarse que al elevar la concentración de la fécula y añadir azúcar se generó un producto con mayor viscosidad. En el caso de la bebida de soya y la leche deslactosada sabor chocolate con azúcar no se reportó diferencia significativa con el producto. No obstante el comportamiento de la bebida de jugo de manzana espesada no fue el esperado, al resultar un valor menor que la consistencia esperada, considerando que no es un producto cuya composición de proteínas o grasa permita una estructura estable y uniforme, y por tanto fue el producto menos resistente a la deformación, donde las interacciones predominantes en el sistema son los puentes de hidrógeno formados por la amilosa y amilopectina de la fécula [Coultrate, 2007]. Por otra parte, la diferencia encontrada no implica un rechazo total del producto pues la consistencia mínima permitida para pacientes con disfagia moderada es la consistencia tipo néctar y aunque experimentalmente los valores son inferiores a la consistencia miel, se encuentran en el intervalo establecido por la NDD. (Tabla 7).

### 3.5.2 Ensayos viscoelásticos dinámicos para matrices seleccionadas

Posteriormente, se hizo un barrido de frecuencia de baja amplitud en la zona viscoelástica lineal, en el que se determinó el módulo de almacenamiento o módulo elástico ( $G'$ ), y el módulo de pérdida ( $G''$ ), asociado con la energía que se disipa y

por tanto con la componente viscosa; y el módulo complejo o dinámico ( $G^*$ ) que indica qué componente prevalece en el semisólido [Trujillo et al., 2012].

Debido a que las gráficas presentaron ruido al final de la curva, se optó por considerar el intervalo de frecuencia angular de 0.1 a 100  $s^{-1}$ , ya que los valores de los módulos leídos por el equipo por arriba de 100  $s^{-1}$ , corresponden a efectos de inercia generados por las altas frecuencias a las que fue sometida la muestra y no se relacionan con el comportamiento viscoelástico del producto.

En todos los casos se observa que el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) prevalece sobre el módulo de pérdida ( $G''$ ) y que el módulo complejo es similar al módulo de almacenamiento, lo que favorece la estabilidad del estado sólido del sistema.

De acuerdo a las Figuras 71, 72 y 73, el jugo de manzana espesado es el producto con el módulo de almacenamiento más elevado, por lo tanto es considerado como el producto más rígido, debido a que presenta la mayor concentración de fécula de maíz y posiblemente a que se formó una red estabilizada por puentes de hidrógeno. Por otra parte, la leche deslactosada modificada, el producto subsiguiente al producto de jugo de manzana fue el único considerado como duro por el panel al realizar el Perfil *Flash*.

En el comportamiento de los productos con el doble de concentración de almidón (bebida de jugo de manzana y bebida de soya), se observó que no se presentó el cruce de los módulos a diferencia de los casos anteriores (Figuras 74, 75, 78 y 79). A pesar de no lograr la fluidización de estos productos, se observa un acercamiento de los módulos en la bebida de soya con el doble de concentración al final de la gráfica (Figura 79). Este fenómeno se debe a que al aumentar la concentración de fécula de maíz, el contenido de cadenas poliméricas es superior y por lo tanto se favorece una estructura de red más estable y ordenada como el estado sólido.

Estas características de semisólido no comprometen la seguridad de la deglución pero es conveniente evaluar a frecuencias superiores donde el producto se comporte como en los esfuerzos de cizalla y elongación que se presentan en la deglución.

Finalmente, debido a la estabilidad observada a lo largo de todas las gráficas obtenidas en el barrido de frecuencia, se puede considerar a los productos espesados como cohesivos, homogéneos y adecuados para una deglución segura.

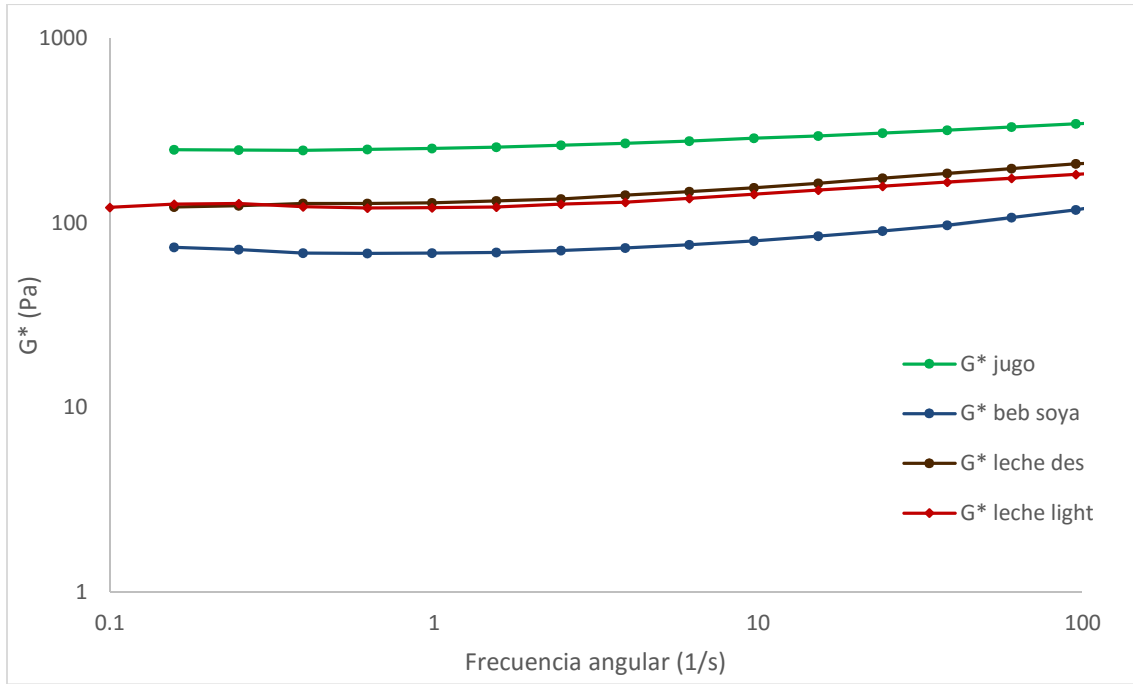


Figura 71. Barrido de frecuencia del módulo dinámico a  $\% \gamma = 1$  de los productos espesados.

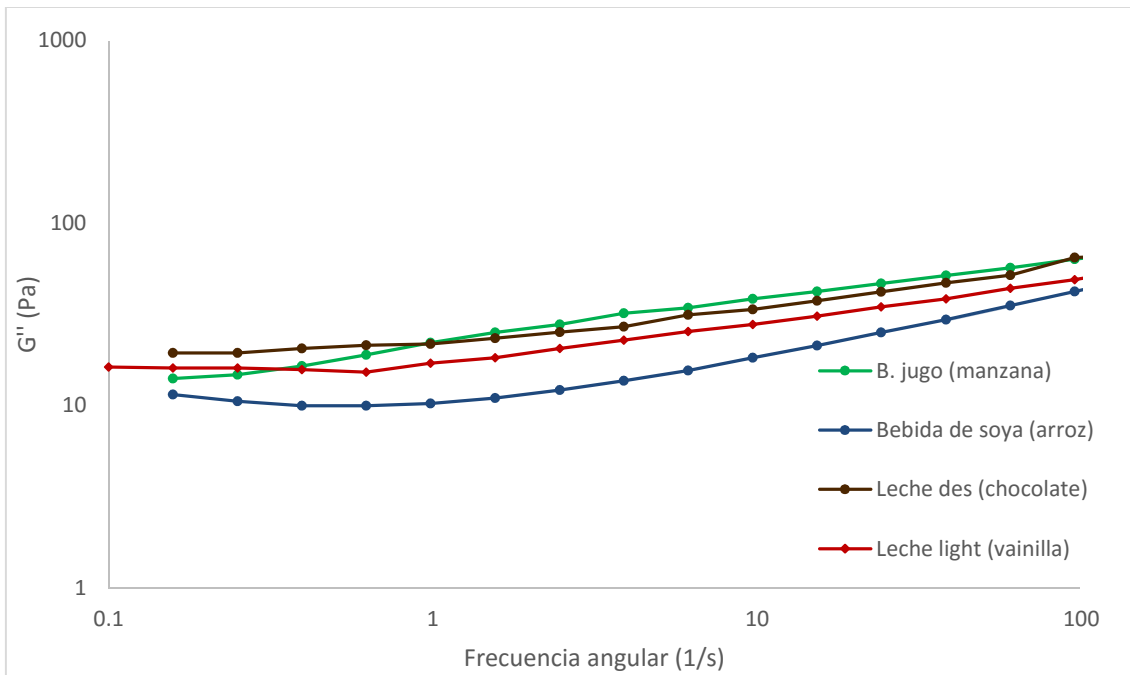


Figura 72. Barrido de frecuencia del módulo  $G''$  de los productos espesados con FM ( $\% \gamma = 1$ ).



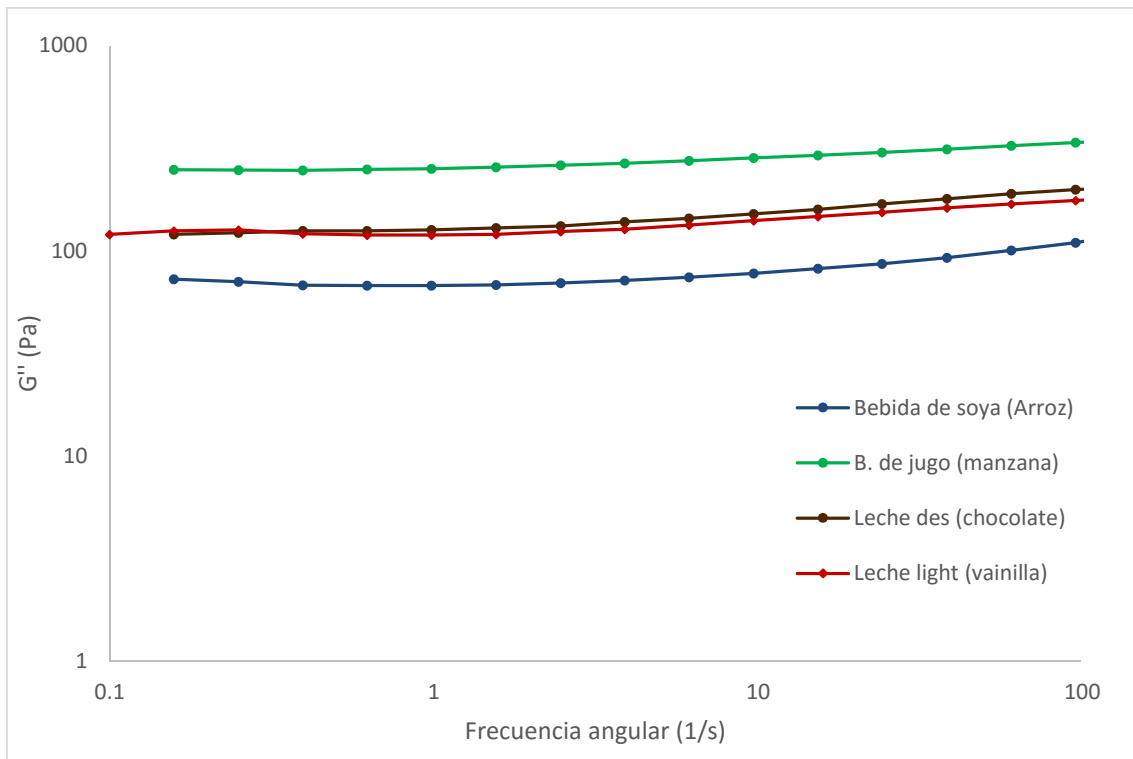


Figura 73. Barrido de frecuencia del módulo  $G'$  de los productos espesados con FM ( $\% \gamma = 1$ ).

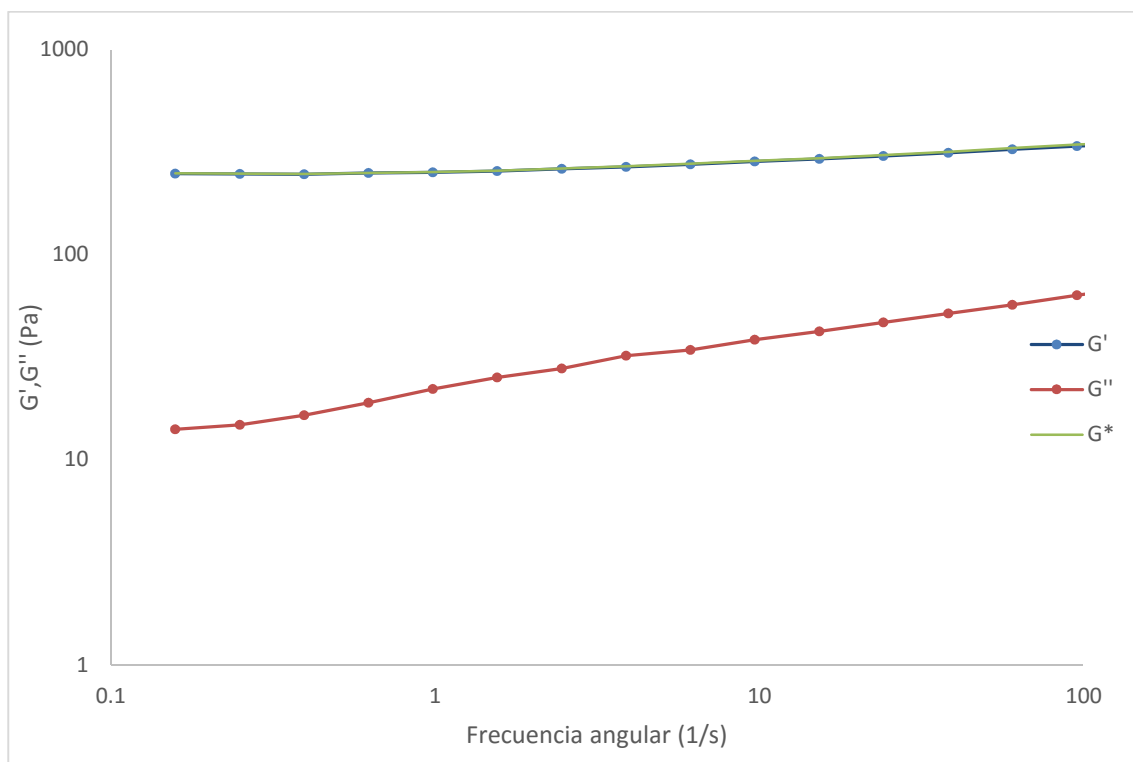


Figura 74. Barrido de frecuencia de la bebida de jugo de manzana espesada con FM ( $\% \gamma = 1$ ).

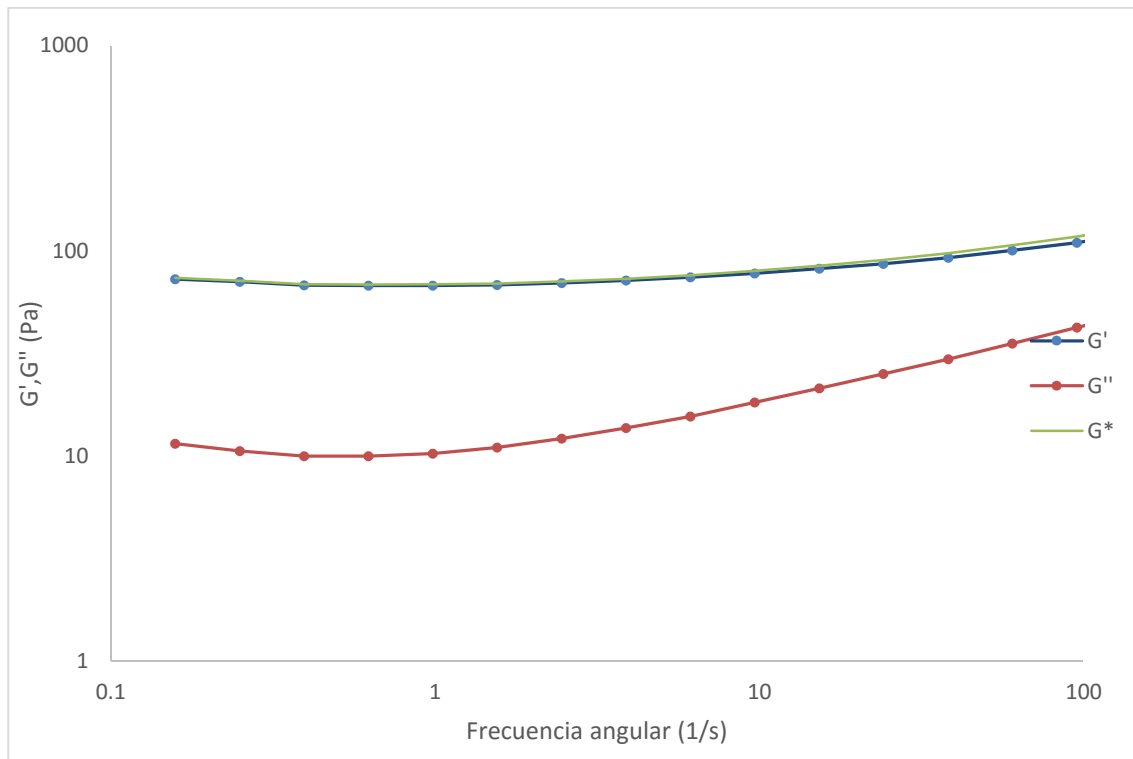


Figura 75. Barrido de frecuencia de la bebida de soya espesada con FM s. arroz con leche (% $\gamma$ =1).

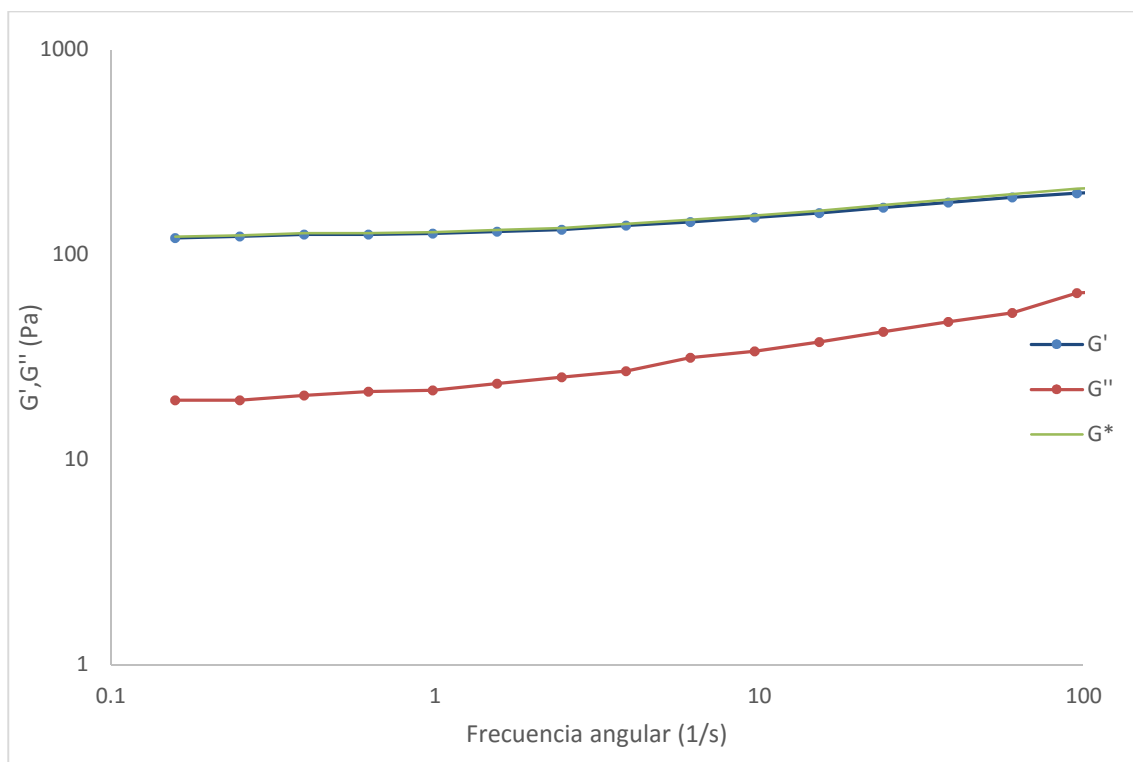


Figura 76. Barrido de frecuencia de la leche deslactosada espesada con FM sabor chocolate (% de deformación=1).

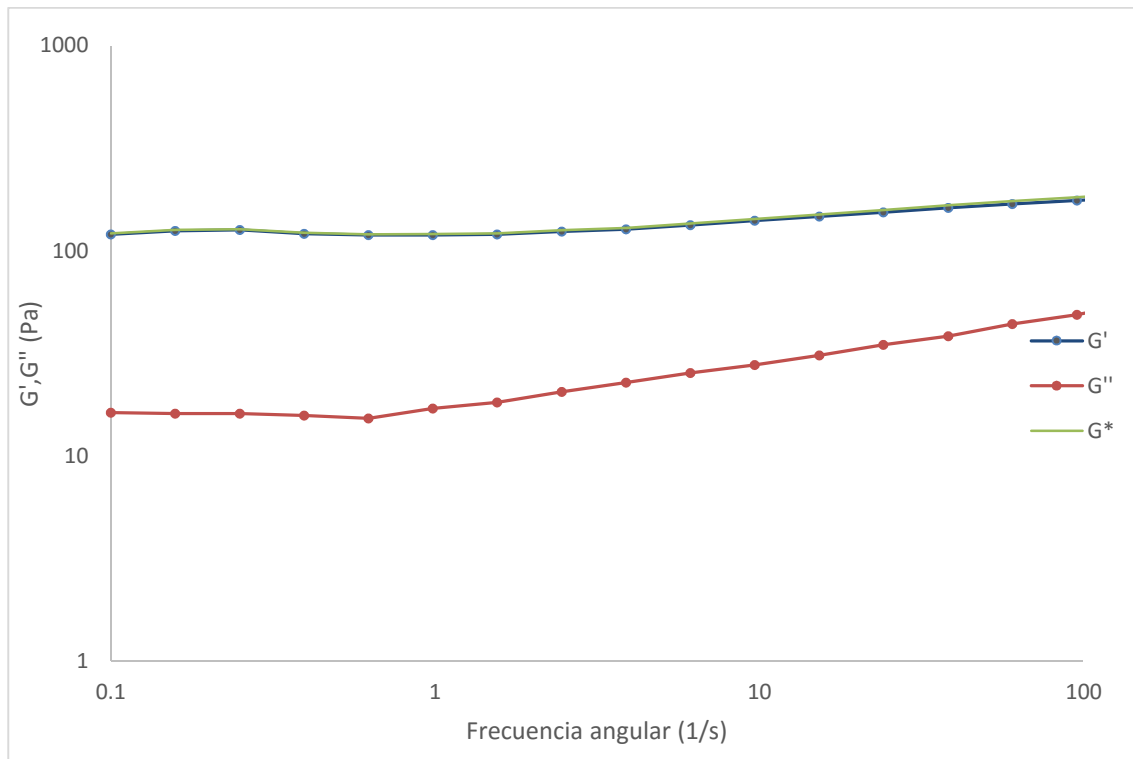


Figura 77. Barrido de frecuencia de la leche light espesada sabor vainilla a baja amplitud ( $\gamma=1$ ).

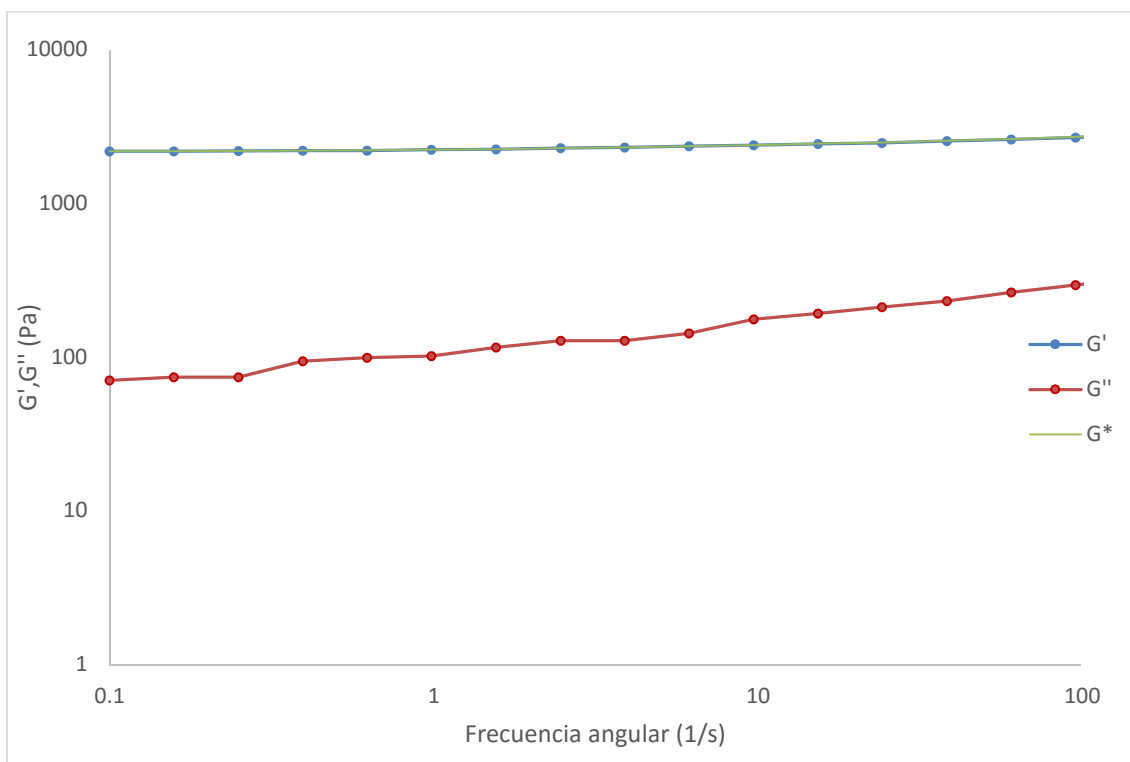
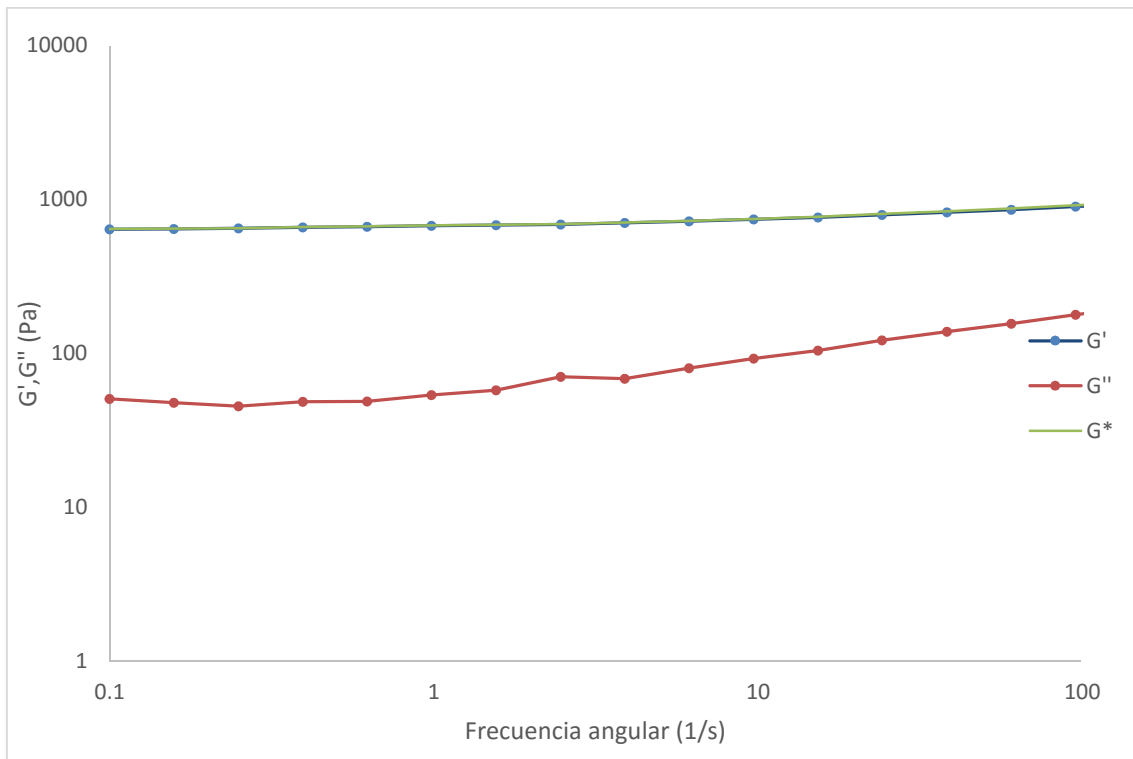


Figura 78. Barrido de frecuencia de la bebida de jugo al doble de la concentración de FM ( $\gamma=1$ ).



**Figura 79. Barrido de frecuencia de la bebida de soya al doble de la concentración de FM a baja amplitud ( $\gamma=1$ ).**

### 3.5.3 Reología extensional para matrices seleccionadas

Debido a que las muestras presentaron un componente elástico, se midió la viscosidad extensional de las mismas, ya que se desea cuantificar este valor y compararlo con las referencias.

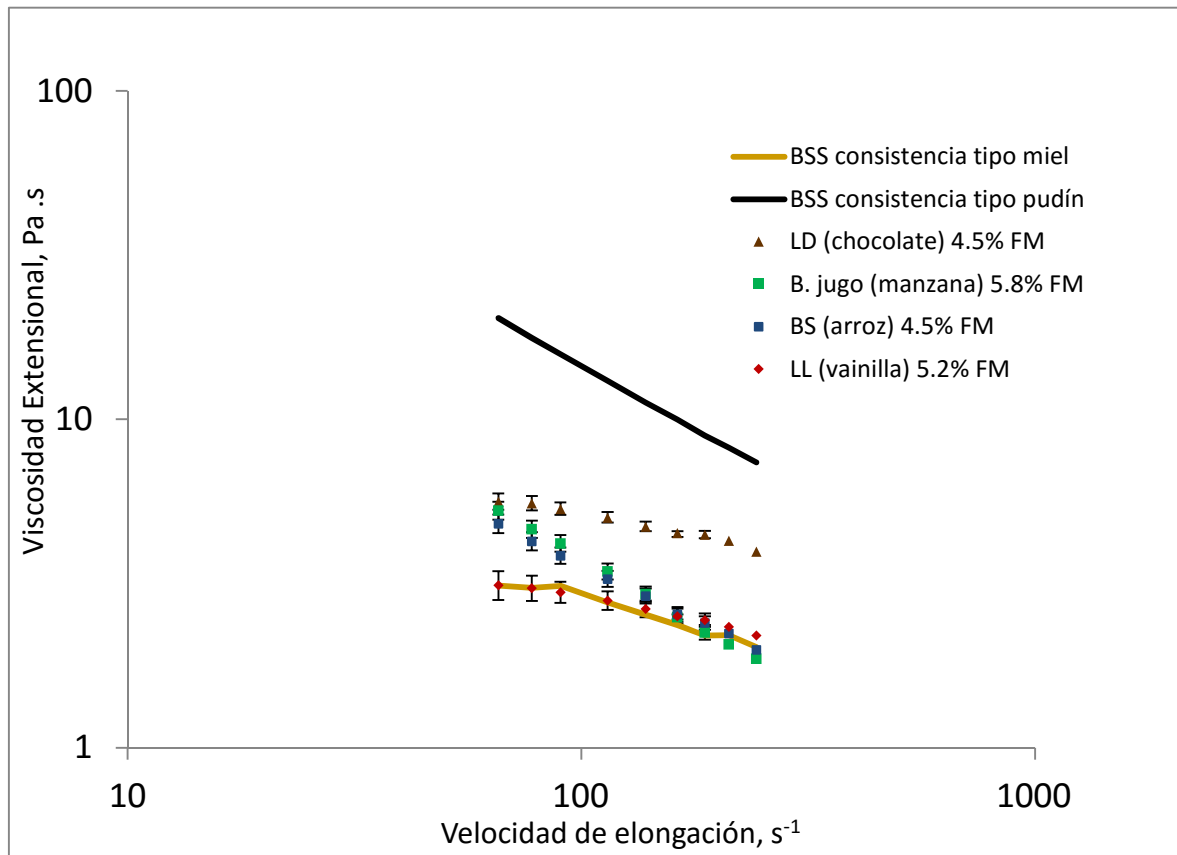


Figura 80. Curva de flujo extensional para velocidades de elongación bajas (contracción  $\frac{1}{4}$ ').

Como se puede observar en la Figura 80, en las primeras velocidades de deformación (fase esofágica de la deglución) existe un comportamiento que se aleja de la segunda parte de la gráfica para tres fluidos espesados que fueron medidos en el reómetro extensional. Debido a que las velocidades de elongación utilizadas corresponden a valores menores a  $60 s^{-1}$  y la diferencia entre las mismas es cercana a  $10 s^{-1}$  ( $29.2$ ,  $41.3$  y  $53.5 s^{-1}$ ), la sensibilidad del equipo no asegura que la curva de flujo tenga dicho comportamiento para cuatro de los casos de estudio (Varibar consistencia miel, Varibar consistencia pudín, Leche light espesada, Leche deslactosada espesada). Por lo tanto se decidió considerar la curva de la

deformación extensional a partir de la velocidad  $65.7 \text{ s}^{-1}$  y calcular los datos reológicos aplicando la Ley de Potencia, obteniendo coeficientes de correlación lineal superiores a 0.9629, pues las curvas mostraron fluidificación por elongación a lo largo de estas velocidades de deformación (Tabla 25). El cálculo de los parámetros de consistencia ( $l$ ) e índice de comportamiento de flujo extensional ( $m$ ) fue realizado de la misma manera que en la gráfica 20 (Metodología), cambiando su nomenclatura debido a que no corresponden a un estudio de cizalla.

**Tabla 25. Resumen de parámetros de regresión Ley de Potencia para bajas velocidades de elongación.**

Matriz	Sabor	$m-1$	$m$	$l$ $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$	$R^2$
Consistencia Miel	Referencia BSS	-0.356	0.644	14.581	0.9629
Consistencia Pudín	Referencia BSS	-0.773	0.227	512.32	0.9998
Leche deslactosada	Chocolate	-0.265	0.735	16.805	0.9788
Bebida de soya	Arroz	-0.664	0.336	76.875	0.9988
Leche light	Vainilla	-0.269	0.731	9.9065	0.9985
B. de jugo de manzana	Manzana	-0.811	0.189	158.65	0.9849

Los datos de índice de comportamiento de flujo para las leches (LD y LL) fueron los más cercanos a 1, por lo tanto su comportamiento es más cercano a un fluido newtoniano y los valores más bajos correspondieron a la matriz de bebida de jugo de manzana, a la bebida de soya y a la consistencia tipo pudín. Además, a pesar que sus valores de  $m$  son más altos que los valores de  $n$ , respetaron el orden creciente de este parámetro ( $LD > LL > BS > BJ$ ).

Por otra parte, el índice de consistencia fue diferente para cada matriz. Con los datos obtenidos a través de la Ley de Potencia se realizó un recalcu de los valores de viscosidad extensional en un intervalo de  $200 \text{ s}^{-1}$  analizando un barrido desde  $50 \text{ s}^{-1}$  hasta  $250 \text{ s}^{-1}$  incrementándose cada  $10 \text{ s}^{-1}$ . Con estos resultados, fue posible realizar un análisis de varianza a una sola vía con  $\alpha=0.05$ . Hallándose diferencia

significativa en la ANOVA (Anexo 7), se realizó una prueba DMSH obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 26. DMSH para el promedio de viscosidad de las matrices espesadas con fécula de maíz.**

Sabor	Consistencia pudín	Consistencia Miel	B. de jugo manzana	Leche deslactosada Chocolate	Leche light Vainilla	Bebida de soya Arroz
Resultados	12.30	2.57	3.18	4.61	2.66	3.1
	a	c	bc	b	bc	bc

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 26, la consistencia pudín es significativamente superior a los valores de las demás matrices. En el caso de las demás matrices, todas resultaron significativamente similares a la consistencia miel, a excepción de la leche deslactosada cuya viscosidad extensional fue superior a la consistencia miel, sin embargo la resta de las medias de estos valores (2.04) es cercana al valor mínimo para establecer diferencia significativa (1.95), por lo que con un nivel de significancia menor al utilizado ( $\alpha=0.05$ ), el comportamiento sería considerado estadísticamente similar. Aunado a ello, la viscosidad extensional es superior a miel pero inferior a pudín, por lo tanto no representa un riesgo para la seguridad del producto. Sin embargo, para establecer la viabilidad de los productos espesados con fécula de maíz en pacientes con disfagia orofaríngea, se debe analizar el comportamiento de flujo extensional a velocidades de deformación más altas (fase oral de transporte y faríngea de la deglución). Por ello, se muestra a continuación la curva de deformación extensional realizada con la contracción  $\frac{1}{8}$ ' que comprende la rampa de velocidades de 350-2917  $s^{-1}$ .

Como se puede observar en la curva de flujo extensional (Fig. 81), a mayores velocidades de elongación, se muestra un comportamiento reofluidizante; sin embargo en el caso de la leche deslactosada el primer valor se encuentra por debajo de lo esperado, y para la bebida de jugo de manzana el último valor se encuentra por arriba de lo esperado. Con el fin de obtener un coeficiente de correlación más elevado para estos productos, se descartan los puntos mencionados, ya que no se posee información subsiguiente a estos datos para considerarlos dentro de la Ley

de Potencia. Asimismo, la consistencia miel y pudín de Varibar® no se ajustaron correctamente a la Ley de Potencia como tal, por lo tanto se utilizó una variante del modelo denominada Sisko, en la que un fluido refluidizante se vuelve newtoniano al llegar a cierta velocidad de deformación, ya que los valores de  $\eta_e$  resultaron muy parecidos en la última parte de la gráfica, es decir, a velocidades de deformación más altas, ya no se presenta una disminución de la viscosidad extensional. La Tabla 27 muestra los valores obtenidos, aplicando los modelos mencionados.

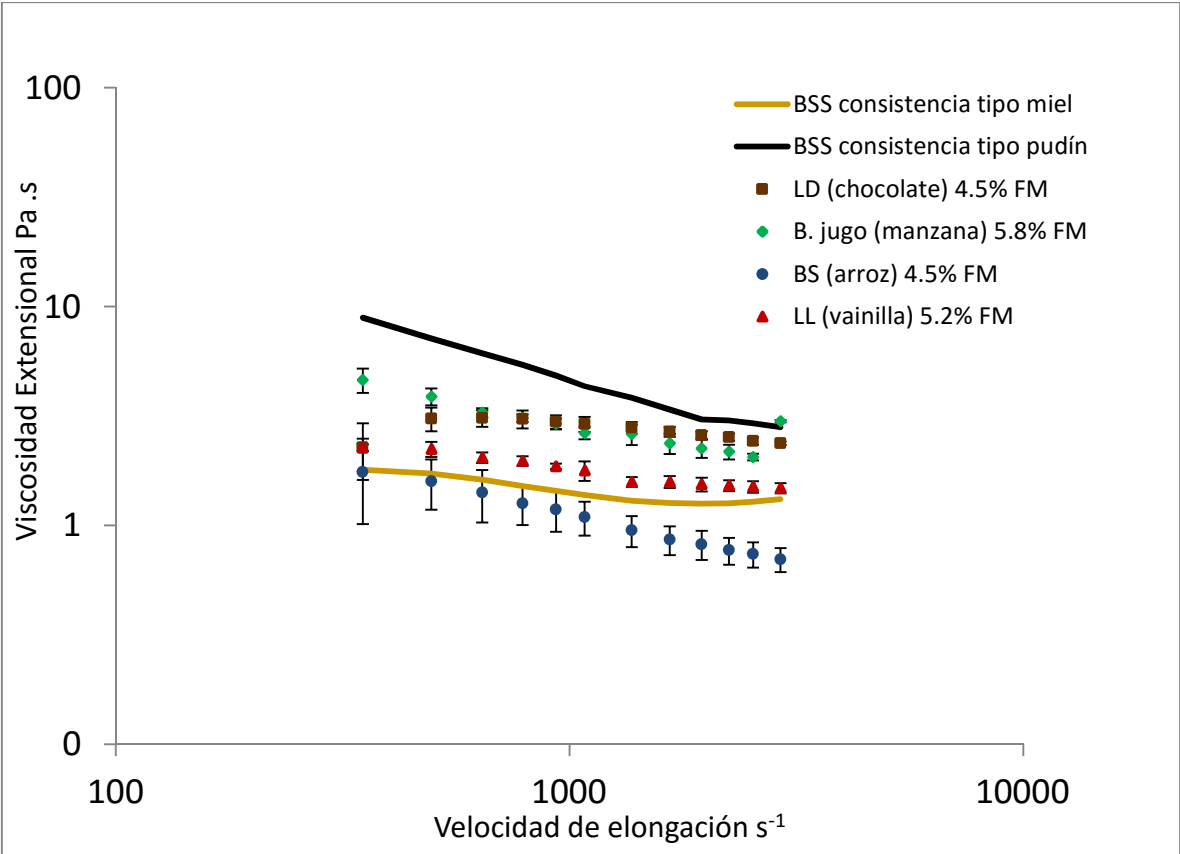


Figura 81. Curva de flujo extensional para la contracción 1/2'.



Tabla 27. Resumen de parámetros de regresión Ley de Potencia para altas velocidades de elongación.

Matriz	Sabor	m-1	m	l (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
Consistencia Miel	Referencia BSS	-0.246	0.754	7.7792	0.9813*
Consistencia Pudín	Referencia BSS	-0.621	0.379	336.61	0.9992*
Leche deslactosada	Chocolate	-0.161	0.839	8.7874	0.9456
Bebida de soya	Arroz	-0.458	0.542	26.56	0.9951
Leche light	Vainilla	-0.229	0.771	8.8478	0.9611
B. de jugo de manzana	Manzana	-0.389	0.611	42.37	0.9799

De nueva cuenta, los datos de índice de comportamiento de flujo para las leches (LD y LL) fueron los más cercanos a un fluido newtoniano y en todos los casos se observó que estos valores fueron superiores a los obtenidos a bajas velocidades de elongación, es decir a mayor velocidad de elongación el fluido presenta una menor disminución de su viscosidad extensional.

Posteriormente, se aplicaron las ecuaciones para un intervalo de 2500 s<sup>-1</sup> aproximadamente, analizando un barrido desde 300 s<sup>-1</sup> hasta 2500 s<sup>-1</sup> incrementándose cada 100 s<sup>-1</sup>. Con estos resultados, fue posible realizar un análisis de varianza a una sola vía con  $\alpha=0.05$ . Hallándose diferencia significativa en la ANOVA, por lo que se realizó una prueba DMSH obteniéndose lo siguiente (Tabla 28):

Tabla 28. DMSH para el promedio de viscosidad de las matrices espesadas con fécula de maíz.

Sabor	Consistencia Pudín	Consistencia Miel	B. de jugo manzana	Leche deslactosada Chocolate	Leche light Vainilla	Bebida de soya Arroz
Resultados	4.45	1.40	2.75	2.81	1.75	1.07
	a	d	bc	b	cd	d

Para altas velocidades de deformación, se observa que las matrices diseñadas responden adecuadamente a la elongación sometida, obteniéndose así, valores

superiores a la consistencia tipo miel; sin embargo, como se discutió anteriormente, la seguridad del producto no es puesta en riesgo, pues los resultados de viscosidad extensional, se hallan entre los valores de consistencia pudín y consistencia miel. Una de las razones de este comportamiento, se debe a la gelatinización del almidón durante la preparación del producto, ya que el agua de la matriz base utilizada es absorbida y actúa como un plastificante que incrementa la movilidad de la cadena polimérica permitiendo el flujo de partículas adyacentes sobre sí o alejándose entre las mismas [Cortés et al., 2014]. No obstante, uno de los detalles de este espesante consiste en que a mayores velocidades de elongación, el fluido se adelgaza y existiría un riesgo de ruptura considerando que el rango de velocidad de elongación utilizado, por ello es necesario establecer las velocidades de elongación presentadas durante el proceso de deglución.

Finalmente, se realizó la gráfica de la Ley de Trouton para conocer el comportamiento de los productos. De acuerdo a los resultados obtenidos en corte, se estimó la viscosidad extensional de las muestras para el intervalo de velocidad de los productos de 50 a 100 s<sup>-1</sup> (Figuras 82-84), de tal manera que las velocidades seleccionadas coinciden con las velocidades de corte establecidas en los estudios de disfagia. [Brito et al., 2012]. Los resultados son variables, por lo mismo justifican la metodología de obtención de datos mediante la técnica realizada, es decir, obtener la viscosidad extensional de forma teórica (por medio de la Ley de Trouton y viscosidad de corte) implica una desviación diferente para cada producto y requiere un factor de corrección dependiente de los mismos, por lo mismo resulta inadecuado para los productos espesados con fécula de maíz, como se observa en la Tabla 29.

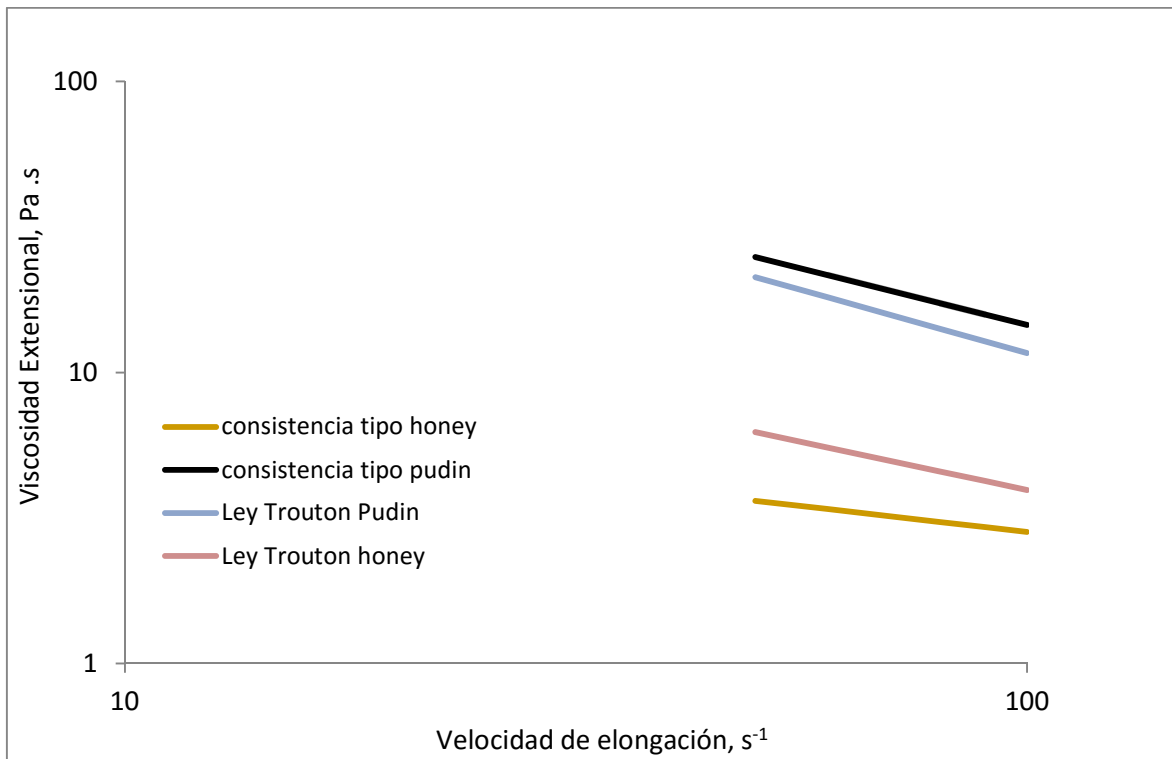


Figura 82. Curva de flujo extensional de los datos experimentales de Varibar® vs Ley de Trouton.

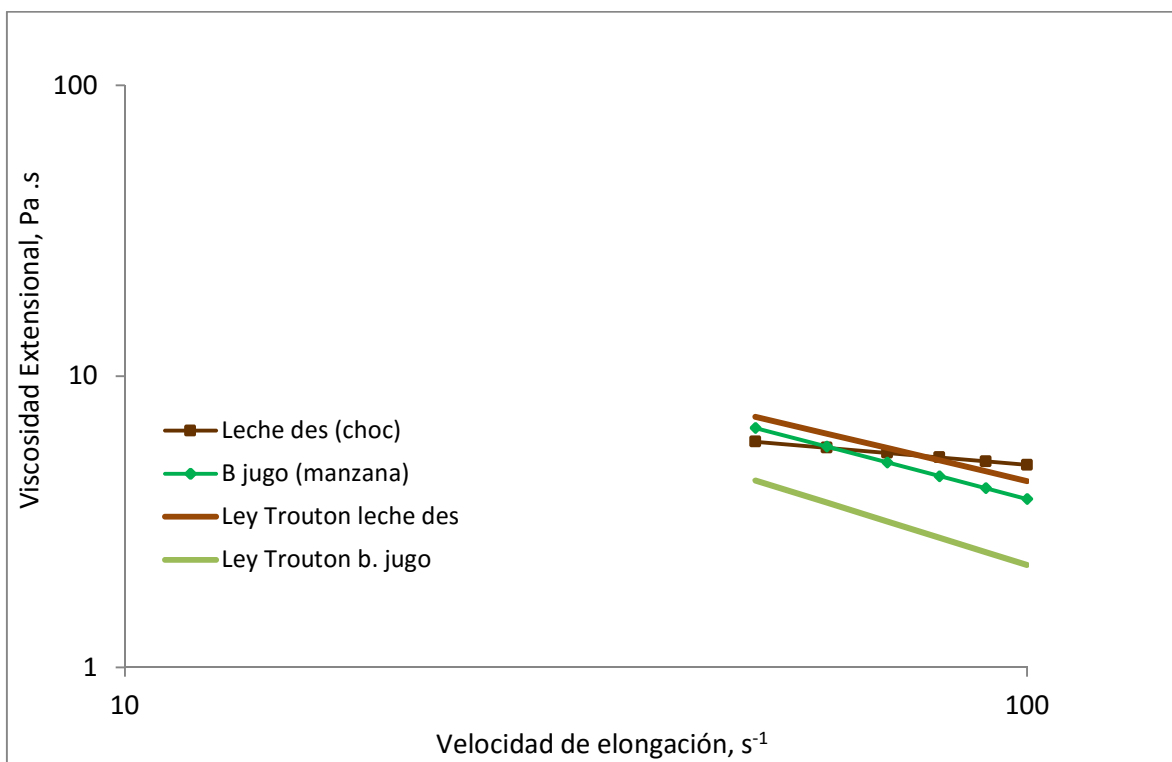


Figura 83. Curva de flujo extensional de los datos experimentales de BJM y LD vs Ley de Trouton.

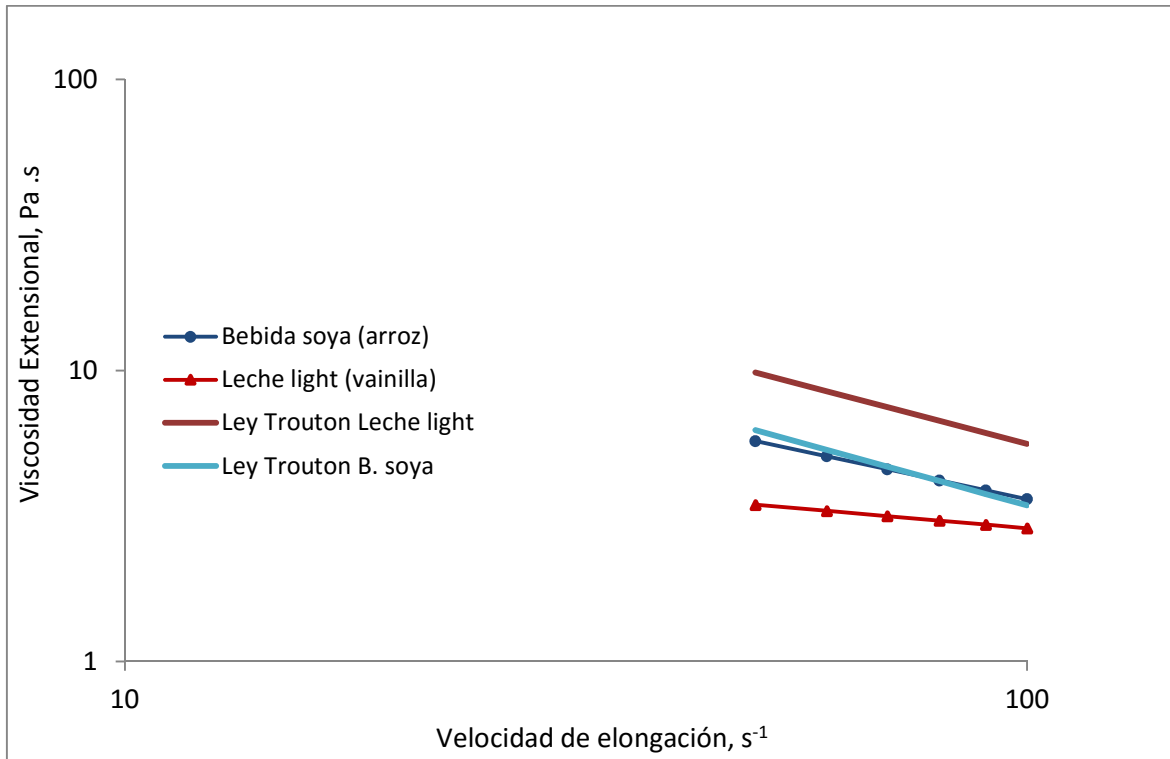


Figura 84. Curva de flujo extensional de los datos experimentales de BS y LL vs Ley de Trouton.

Tabla 29. Resumen de valores de la relación de Trouton obtenidos experimentalmente.

Velocidad $s^{-1}$	Pudín	Miel	B. de soya	Leche des	Leche light	B. jugo
50	3.5	1.7	2.7	2.5	1.1	4.5
60	3.6	1.8	2.9	2.7	1.2	4.7
70	3.6	1.9	2.9	2.9	1.3	4.8
80	3.7	2.0	3.0	3.1	1.4	4.9
90	3.7	2.1	3.1	3.2	1.5	5.0
100	3.7	2.1	3.2	3.4	1.5	5.1

En todos los casos se aprecia que la relación de Trouton aumenta conforme la velocidad también lo hace. Cabe destacar que cuando un valor es superior a 3 se debe a que las componentes elásticas del fluido tienen una mayor contribución [O'Brien & Mackay, 2002]. Asimismo, no se encontraron comparaciones para este intervalo de velocidades, ni referencias sobre los valores esperados para las consistencias tipo miel y pudín.

### 3.5.4 Resumen de resultados caracterización reológica completa

De acuerdo a los resultados de la caracterización reológica, los productos espesados con FM (4.5-5.8%) se pueden considerar como seguros. Los resultados de las pruebas de corte y ensayos viscoelásticos dinámicos se resumen en la Tabla 30 y los resultados obtenidos en las pruebas de viscosidad extensional, se resumen en la Tabla 31.

**Tabla 30. Resumen de resultados pruebas de corte y dinámicas.**

Productos/Pruebas	Viscosidad de corte (Pa)	Pruebas dinámicas
<b>Leche des 4.5% (Choc)</b>	2.42-1.45 (Miel)	Homogéneo y cohesivo
<b>B. de soya 4.5% (Arroz)</b>	2.08-1.32 (Miel)	Homogéneo y cohesivo
<b>Leche light 5.2% (Vain)</b>	3.28-1.86 (Entre Miel y Pudín)	Homogéneo y cohesivo
<b>B. jugo manzana 5.8%</b>	0.76-0.42 (NDD-Miel)	Homogéneo y cohesivo

**Tabla 31. Resumen de resultados pruebas de viscosidad extensional a altas y bajas velocidades.**

Productos/Pruebas	Viscosidad ext prom (bv)	Viscosidad ext prom (av)
<b>Leche des 4.5% (Choc)</b>	4.61 (Entre Miel y Pudín)	2.81 (Entre Miel y Pudín)
<b>B. de soya 4.5% (Arroz)</b>	3.1 (Miel)	1.07 (Miel)
<b>Leche light 5.2% (Vain)</b>	2.66 (Miel)	1.75 (Miel)
<b>B. jugo manzana 5.8%</b>	3.18 (Miel)	2.75 (Entre Miel y Pudín)

## CONCLUSIONES

La aplicación de fécula de maíz como modificador de la consistencia de las cuatro matrices base líquidas (leche deslactosada, leche light, bebida de soya y bebida de jugo de manzana) fue exitosa para las concentraciones y sabores establecidos (Tabla 19), pues su comportamiento reológico tanto en corte como extensional y el desempeño en la prueba sensorial de nivel de agrado para consumidores, la sitúan como una alternativa viable para utilizar el producto en pacientes con disfagia.

De acuerdo al Perfil Sensorial del producto, las cuatro bebidas espesadas sufren cambios en su aspecto, olor, sabor y textura al añadir la fécula de maíz, mientras que comparten características como el sabor a almidón, alta viscosidad percibida y la textura arenosa y grumosa, se suelen diferenciar en el olor y sabor debido a la presentación de fécula para preparar atole en cada caso. Por otra parte se observó una menor cantidad de grumos y un producto más homogéneo con la leche deslactosada y la bebida de soya que con la leche light o la bebida de jugo.

La modificación de la consistencia de la bebida de soya y leche deslactosada no genera cambios drásticos en la evaluación hedónica de este producto e incluso la beneficia en el olor, aunque la perjudica en apariencia y grumosidad, logrando colocar los productos en el punto “me agrada levemente” dentro de la escala hedónica, para el nivel de agrado en general de ambas muestras en consumidores no habituales del producto.

Reológicamente, los productos exhibieron un comportamiento reofluidizante tanto en extensión como en corte que obedece la Ley de Potencia, encontrándose que la bebida de soya sabor arroz con leche tuvo una similitud al comportamiento del medio de referencia Varibar® consistencia miel para las pruebas de corte y elongación a bajas y altas velocidades.

Por otra parte, la leche light espesada con FM sabor vainilla no reportó diferencias significativas en las pruebas extensionales pero fue significativamente superior a miel e inferior a pudín en la prueba de corte. En el caso de la leche deslactosada espesada con FM sabor chocolate, aunque significativamente similar en corte, el

valor de viscosidad extensional fue superior a miel e inferior a pudín en altas y bajas velocidades de elongación, por lo que no se compromete la seguridad del producto en ambos casos. El jugo tuvo un comportamiento aceptable en las pruebas extensionales y dinámicas, pero reportó una viscosidad más baja que la consistencia miel; no obstante, este valor de viscosidad no representa un riesgo para el paciente, ya que se encuentra en el intervalo establecido por la ADA.

De acuerdo a los ensayos viscoelásticos realizados, se pudo observar que los productos espesados con fécula de maíz tienen el comportamiento de un semisólido estable, homogéneo y cohesivo y similar para todas las matrices base, en el que predomina la componente elástica. Por otra parte, la bebida de soya espesada y la leche deslactosada texturizada resultaron los productos con el valor más elevado de  $G'$ , por lo tanto presentaron mayor rigidez en esta prueba dinámica,

## RECOMENDACIONES

Para el manejo del producto, se recomienda:

- ▶ No guardar el producto por más de un día, de preferencia consumir el mismo día de la preparación
- ▶ Evitar la formación de grumos durante la preparación, cuidar que la fécula se disperse para disminuir la sensación arenosa del producto.
- ▶ Utilizar un potenciador de sabor para resaltar el perfil del producto en este aspecto.
- ▶ Supervisar al paciente durante el consumo del producto.

Para estudios superiores, se recomienda:

- ▶ Realizar un protocolo clínico, de tal manera que sea posible hacer estudios de pruebas afectivas con pacientes.
- ▶ Realizar un protocolo clínico que permita evaluar la seguridad del producto en un estudio con pacientes.
- ▶ Probar diferentes matrices y espesantes con el fin de favorecer las alternativas de consumo para las personas que padecen disfagia e incluso combinaciones de espesantes.
- ▶ A su vez probar concentraciones superiores de fécula de maíz para generar consistencias similares a la tipo pudín.



- ▶ Ajustar un flujo intermedio entre las velocidades de elongación bajas y altas para unir ambas gráficas y generar una sola curva de flujo extensional.
- ▶ Evaluar la dependencia del semisólido frente al tiempo de cizalla y elongación para una caracterización más completa del mismo.
- ▶ Verificar la homogeneidad del sistema mediante técnicas de microscopía.

## BIBLIOGRAFÍA

- ▶ Aguiar, B. (2012) *Manejo de la disfagia en los pacientes vasculares*, Montevideo. XV Simposio Internacional de enfermedad cerebrovascular.
- ▶ American Dietetic Association (2002) *National Dysphagia Diet: Standardization for Optimal Care*. Ohio. ADA.
- ▶ Ascanio, G. Carreau, P. J., Brito-de la Fuente, E. & Tanguym P. A. (2002) Orifice Flowmeter for Measuring Extensional Properties. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 28 (2), 1190-1195.
- ▶ Ascanio, G., Bazán, M.A., Valera, B., Damián, R., Brito, E., Solís, L.U., Díaz, M. Reyes, I., Córdova, M. S. (2015) *Manual de ensamblaje y operación: Reómetro de orificio de bomba de lóbulos*. México, D.F. UNAM.
- ▶ Barnes, H.A. (2000) *A Handbook of Elementary Rheology*. Wales, Cambrian Printers.
- ▶ Barroso, L., Casado, M. P., Dávila R. M., Gómez, A., González, C. Pajares, S., & Panizo, E. (2012) *Guía de nutrición para personas con disfagia*, Madrid. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales y Equidad & IMSERSO.
- ▶ Belitz, H.D. & Grosch, W. (1999) *Food Chemistry*, Berlín. Springer-Verlag.
- ▶ Beltrán, M & Marcilla, A. (2012) *Tecnología de Polímeros. Procesado y Propiedades*. Alicante. Universidad de Alicante.
- ▶ Betancur, D., Hernández, M., Torruco, J.G. & Chel, L. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 28 (3), 719.
- ▶ Brito-de la Fuente, E., Ekberg, O. & Gallegos C. (2012) Rheological Aspects of Swallowing and Dysphagia. En: *Dysphagia Diagnosis and Treatment*. Ed (editado por O. Ekberg), Oberursel, Malmö, Huelva, 501-504.

- ▶ Calvo, S.C., Gómez, C. & Planas, M. R. (2012) *Manual de nutrición artificial*, Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- ▶ Cervo, F.A., Bryan, L., & Farber, S. (2006). To PEG or no to PEG: a review of evidence for placing feeding tubes in advanced dementia and the decision-making process. *Geriatrics* 61, 30-35.
- ▶ Chee, C., Arshad, S., Singh S., Mistry, S. & Hambdy, S. (2005) The influence of chemical gustatory stimuli and oral anaesthesia on healthy human pharyngeal swallowing. *Chem Senses* 30 (5), 394-400.
- ▶ Cortés, J.F., Fernández, A. L., Mosquera, S. A. & Velasco, R. Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. *Re. Bio. Agro* 12 (1),95-96.
- ▶ Coultate T.P. (2007) *Manual de Química y Bioquímica de los alimentos*, Madrid. Acribia Editorial.
- ▶ Dairou, V. & Sieffermann, J.M., (2002). A comparison of 14 jams characterized by conventional profile and a quick original method, the Flash profile. *Journal of Food Science* 67(2), 826-834.
- ▶ de Miranda, J.A., Cacita, N., Okano, L.T. (2007) Evaluation of amylopectin clusters and their interaction with nonionic surfactants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 60, 19-20.
- ▶ Dewar, R.J. & Joyce. M.J. (2006) The thixotropic and rheopectic behavior of maize starch and maltodextrin thickeners used in dysphagia therapy. *Carbohydrate Polymers* 65, 305.
- ▶ Dijksterhuis, G. (1996) Procrustes analysis in sensory research. En *Multivariate Analysis of Data in Sensory Science*. Ed. (editado por T. Naes & E. Risvik). Holanda. Elsevier.
- ▶ Drug Information Data Base. Varibar. Fecha de recuperación 25 de septiembre de 2015 Encontrado en:  
<http://www.drugs.com/pro/varibar-honey.html>
- ▶ Espacio Alternativas del Uruguay. Harina Integral. Fecha de recuperación 10 de julio de 2015. Encontrado en:  
<http://www.centrodealternativas.com/alimentacion-salud-uruguay.htm>

- ▶ FAOSTAT (2013) Food and Agricultural commodities production: Maize, fecha de recuperación 03 de junio de 2015. Encontrado en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- ▶ Feinberg M.J., Knebl, J., Tully, J. & Segall, L. (1990). Aspiration and the elderly. *Dysphagia* 5(2), 61–71.
- ▶ Gallegos, C., Quinchia, L., Ascanio, G., Salinas-Vázquez, M. & Brito-de la Fuente, E. (2012) *Rheology and Dysphagia: An Overview. Annual Transactions of the Nordic Rheology Society* 20, 5,8.
- ▶ González, S. (2009) *Diseño mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Cartagena.
- ▶ Greenwood, C.T. (1979) Observations on the Structure Of the Starch Granule, En: *Polysaccharides in Foods*. Eds. (editado por J. M. V. Blanshard & J.R. Mitchell), Sydney, Wellington, Durban, Toronto, Butterworths, 129-138.
- ▶ Hamdy, S. Jilani, S., Price, V., Parker, C., Hall, N., & Power, M. (2003) Modulation of human swallowing behaviour by thermal and chemical stimulation in health and after brain injury. *Neurogastroenterol Motil* 15(1), 70-71.
- ▶ Hernández, M.J. (2012) *Reología y Textura*. Valencia, Universidad de Valencia.
- ▶ Howden, C.W. (2004) Managment of acid-related disorders in patients with dysphagia. *American Journal of Medicine* 117 (5A), 44.
- ▶ Hyun M.C. & Byoungseung Y. (2015) Rheological Characteristics of Cold Thickened Beverages Containing Xanthan Gum-Based Food Thickeners Used for Dysphagia Diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 115(1), 107.
- ▶ Institute of Food Technology (1975) *Minutes of sensory evaluation. Div. business meeting at 35<sup>th</sup> An meet*. Chicago. Institute of Food Technology.

- ▶ James, A., Kapur, K. & Hawthorne, A. B. (1998) Long-term outcome of percutaneous endoscopic gastrostomy feeding in patients with dysphagic stroke. *Age and Ageing* 27, 674-675.
- ▶ Jiménez, C., Corregidor, A. I. & Gutiérrez, C. (2007) Disfagia. En: *Tratado de Geriatría para residentes*. Ed (editado por Sociedad Española de Geriatría y Gerontología). Madrid, 544-545.
- ▶ Jones, L.V., Peryam, D.R. & Thurstone, L.L. (1955) Development of a scale for measuring soldiers' food preferences. *Food Res.* 20, 512–520.
- ▶ Leonard, R.J., White, C., McKenzie, S., Belafsky, P.C. (2013) Effect of bolus rheology on aspiration in patients with dysphagia. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 114 (7), 590-594
- ▶ Logemann J.A., Gensler, G. Robbins, J., Lindblad, A.S., Brandt, D., Hind, J.A., Kosek, S., Dikeman, K., Kazandjian, M., Gramigna, G.D., Lundt, D., McGarvey-Toler, S. & Miller Gardner, P.J. (2008). A randomized study of three interventions for aspiration of thin liquids in patients with dementia or Parkinson's disease. *J Speech Lang Hear Res* 51, 173–183.
- ▶ López, O. V. (2011) *Desarrollo, Caracterización y Aplicación de envases biodegradables a partir de almidón*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. La Plata.
- ▶ Lubansky, A.S. (2001) *Rheology and its applications in biotechnology*. Oxford. Elsevier.
- ▶ Maestro, A. (2002) *Reología de Espesantes celulósicos para pinturas al agua: Modelización y mecanismo de espesamiento asociativo*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. Facultad de Química. Barcelona.
- ▶ Malandraki, G. & Robbins, J. (2013) Dysphagia. En: *Handbook of Clinical Neurology Vol 110 Neurological Rehabilitation*. Ed (editado por M.P. Barnes & D. C. Good). Madison, 255-257, 262-267.
- ▶ Martínez, I. & Sánchez, C. (2009) Disfagia. En: *Guías para el manejo de urgencias*. Ed (editado por L.F. Correa). Bogotá, 757.

- ▶ Mason, W.R. (2009) Starch use in Foods. En: *Starch Chemistry and Technology*. Ed (editado por J. BeMiller & R. Whistler). Nueva Jersey, 748-749.
- ▶ Matta, Z., Chambers, E., Mertz, J., McGowan, J. (2006) Sensory Characteristics of Beverages Prepared with Commercial Thickeners Used for Dysphagia Diets. *Journal of the American Dietetic Association* 106, 1051-1053.
- ▶ Medina, J.A. & Salas J.C. (2008) Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista Ingeniería* 27, 58-69.
- ▶ Miri, T. (2011) Introduction-Why the interpretive approach? En: *Practical food rheology an interpretive approach*. Ed. (editado por I. T. Norton, F. Spyropoulos & P. Cox). Oxford. Wiley Publications, 20-25.
- ▶ Moskowitz, H.R., Sidel, J.L. (1971) Magnitude and hedonic scales of food acceptability. *J. Food Sci.* 36, 677–680.
- ▶ Ney, D., Kind, A., Robbins J. & Weiss J. (2009) Senescent Swallowing: Impact, Strategies and Interventions. *Nutr Clin Pract: 24(3)*, 395,410.
- ▶ Nguyen, H.N., Silny, J., Albers, D., Roeb, E., Gartung, C., Rau, G. & Metern, S. (1997) Dynamics of esophageal bolus transport in healthy subjects studied using multiple intraluminal impedancometry. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 273, G958–G964.
- ▶ NMX-F-382-1986 (1986) Alimentos. *Almidón o fécula de maíz. Foods. Corn starch. Normas mexicanas. Dirección general de normas.*
- ▶ O'Brien, V. & Mackay, M. (2002) Shear and elongation flow properties of kaolin suspensions. *Journal of Rheology* 46, 557.
- ▶ Özahi, E. (2015) An analysis on the pressure loss through perforated plates at moderate Reynolds numbers in turbulent flow regime. *Flow Measurement and Instrumentation* 43, 6-13.
- ▶ Palma, H.P, Agama, E., González, R.A. & Bello, L.A. (2010) *Efecto del tamaño del granulo en la modificación química del almidón*, Guanajuato. XII Congreso Nacional de Ciencias y Tecnología de Alimentos.

- ▶ Pangborn, E.B., Amerine, M.A. & Roessler, E.B. (1965) *Principles of sensory evaluation of food*. Londres, Academic Press.
- ▶ Peamprasart, T. & Chiewchan, N. (2005) Effect of fat content and preheat treatment on the apparent viscosity of coconut milk after homogenization. *Journal of Food Engineering* 77, 653-657.
- ▶ Pelletier, C.A. & Lawless H.T. (2003). Effect of citric acid and citric acid-sucrose mixtures on swallowing in neurogenic oropharyngeal dysphagia. *Dysphagia* 18(4), 231-241.
- ▶ Peryam, D.R., Pilgrim, F.J. (1957). Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technol.* 11 (9), 9–14.
- ▶ Prado, B. (2015) *Diseño de un protocolo clínico para el uso de espesantes en líquidos y alimentos semisólidos para pacientes con disfagia orofaríngea del Hospital General de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. México, D.F.
- ▶ Ramírez, J. S. (2006) *Fundamentos de Reología de Alimentos*. Valle. JSR books.
- ▶ Rao, M.A. (2014) *Rheology of Fluid, semisolid, and solid foods*. Nueva York. Springer Science
- ▶ Riaño, C. E. (2013) *Análisis de componentes principales-ACP en la identificación de elementos discriminatorios para caracterizar Coffea Arabica*. Boyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- ▶ Robbins, J., Daniels, S.K. & Baredes, S. (2009). Diagnostic based treatment approaches. En: *A Blitzler*. Ed (editado por M.F. Brin, L. Ramig), 2da edición. Thieme Medical Publishers, Nueva York.
- ▶ Rojas, O., Briceño, M.I. & Avendaño, J. (2012) *Fundamentos de Reología*. Mérida, Universidad de los Andes.
- ▶ Rosas, P.C. (2008) *Análisis de datos sensoriales de consumidor para identificar diferenciación entre segmentos de población por individuos y su relación con atributos hedónicos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. México, D.F.

- ▶ Rosenthal, A.J. (2001) *Textura de los alimentos: medida y percepción*. Zaragoza, Acribia Editorial.
- ▶ Sciortino, K., Liss, J.M., Case, J.L., Gerritsen, K.G. & Katz, R.C. (2003) Effects of mechanical, cold, gustatory, and combined stimulation to the human anterior faucial pillars. *Dysphagia*. 18(1), 16-26.
- ▶ Severiano, P. Cadena A. A., Vargas, D. & Guevara, R. (2012) Questionnaire on Mexicans' familiarity with odor names. *Journal of Sensory Studies* 27, 279, 282-283.
- ▶ Severiano, P., Gómez, D.M., Méndez, C.I., Pedrero, D.L., Gómez, C., Ríos, S.T., Escamilla, A., Utrera, M. (2013) *Manual de evaluación sensorial*. México, D.F. UNAM.
- ▶ Sopade, P.A., Halley, P.J., Chichero, J. A. Y., Ward, L.C., Hui, L.S. & Teo, K.H. (2008) Rheological characterisation of food thickeners marketed in Australia in various media for the management of dysphagia. II. Milk as a dispersing medium. *Journal of Food Engineering* 84, 556, 561.
- ▶ Stone, H., Bleibaum, R.N., Thomas, H. A. (2012) *Sensory Evaluation Practices (4ta edición)*. Waltham, California, Londres. Elsevier.
- ▶ Terré, R. & Mearin, F. (2007) Videofluoroscopy quantification of laryngotracheal aspiration outcome in traumatic brain injury-related oropharyngeal dysphagia. *Rev. Esp. Enf.* 99 (1), 7-12.
- ▶ Thanh, M. T. (2013) *La producción de maltodextrinas a partir del almidón de maíz*. Ho Chi Minh, Universidad Politécnica de Ho Chi Minh.
- ▶ Tovar, T.B. (2008) *Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Hidalgo.
- ▶ Trejo, A. (2004) Nutrición en la enfermedad de Alzheimer. *Arch. Neuorocien* 9 (3), 153.
- ▶ Trujillo, L.A., Santos, J., Calero, N., Alfaro, M.C. & Muñoz, J. (2012) Caracterización reológica de una suspoemulsión comercial para uso agroquímico. *Afinidad LXX* 561, 57-58.



- ▶ van der Sman, R.G.M. & Meinders, M.B.J. (2010) Prediction of the state diagram of starch water mixtures using the Flory-Huggins free volume theory. *Soft Matter* 2 (11), 431.
- ▶ Val, R., Rivera, F., Gutiérrez, A., Mejía, R., Sánchez, P.A., Aparicio, J. & Díaz, L.L. (2005) La medición de sedimentos en México. Morelos. Ediciones IMTA-UJAT
- ▶ Varela, P. & Fiszman, S.M. (2013) Exploring consumers' knowledge and perceptions of hydrocolloids used as food additives and ingredients. *Food Hydrocolloids* 3, 481-484.
- ▶ Vargas, M. (2010) *Desarrollo de alimentos instantáneos tipo atole de alto valor nutritivo para alimentación infantil*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. México, D.F.
- ▶ Velasco, M. & García-Peris, P. (2009) Causas y diagnóstico de la disfagia. *Nutr Hospitalaria Suplementos* 2 (2), 60-64.
- ▶ Villaroel, L., Alvarez, J. & Maldonado, D. (2003) Aplicación del análisis de componentes principales en el Desarrollo de Productos. *Acta Nova* 2(3), 399-404.
- ▶ Warren, C., Pearce, J., Korth, B. (1982) Magnitude estimation and category scaling. *ASTM Stand. News* 10, 15–16.
- ▶ Williams, R.B., Pal, A., Basseur, G. & Cook, I. (2001) Space-time pressure structure of pharyngo–esophageal segment during swallowing. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 281, G1290–G1300.
- ▶ Witting, E. (2001) *Evaluación sensorial. Una metodología actual para tecnología de alimentos*. Santiago. Universidad de Chile.
- ▶ Yuryev, V.P., Genkina, N.K., Wilkman J. & Bertoft E. (2007) Effects of the Structural Imperfection on Gelatinization Characteristics of Amylopectin Starches with A- and B- Type Crystallinity. *Biomacromolecules*, 8(7), 2329-2335.

## ANEXOS

### Anexo 1. Preparación del producto espesado

Las muestras se elaboran con diferentes porcentajes de fécula de maíz (Maizena®) natural o saborizada con fresa, vainilla, nuez y chocolate o tipo arroz con leche.

Las matrices líquidas utilizadas para cada muestra son: agua, leche entera, leche light, leche semidescremada, leche deslactosada bebida de jugo de frutas, y bebida de soya natural, según el caso.

Se describe un procedimiento con aplicación a nivel casero a continuación:

Procedimiento:

1. Medir en la probeta 100 mL de líquido. En un recipiente, dispersar la fécula de maíz moviendo con una espátula de madera (de preferencia) o con una cuchara, hasta su total disolución.
2. Vaciar la disolución en un recipiente de acero inoxidable y poner al fuego alto.
3. Calentar hasta que llegue al punto de ebullición y agitar constantemente con la espátula.
4. Posteriormente, disminuir la temperatura de calentamiento y seguir agitando con la espátula hasta que cambie la consistencia, es decir se espese, lo cual tomará aproximadamente 2-3 minutos. Evitar que se espese demasiado. (Consistencia tipo gel).
5. Eliminar la fuente de calentamiento y seguir agitando para homogeneizar y evitar la formación de grumos.
6. Dejar enfriar un poco y vaciar en el recipiente original, con ayuda de la espátula de madera.
7. Remover el líquido en el recipiente con la punta de un cuchillo para evitar la formación de grumos.
8. Dejar que termine de enfriar para tapan el recipiente.

Anexo 2. Análisis estadísticos de ley de Potencia para selección de matrices y concentraciones

Tabla 32. Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor chocolate.

Tratamiento	Velocidad $s^{-1}$	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	choc BS 4.5% (Pa*s)	choc LL 4.5% (Pa*s)	choc LD 4.5% (Pa*s)	atole choc (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.13	1.28	2.35	0.32
2	52.5	6.80	2.01	1.08	1.23	2.26	0.31
3	55	6.53	1.95	1.04	1.18	2.18	0.30
4	57.5	6.28	1.90	1.00	1.14	2.10	0.29
5	60	6.05	1.84	0.97	1.10	2.03	0.28
6	62.5	5.84	1.79	0.94	1.06	1.97	0.27
7	65	5.65	1.75	0.90	1.03	1.91	0.26
8	67.5	5.47	1.71	0.88	1.00	1.85	0.25
9	70	5.30	1.67	0.85	0.97	1.80	0.25
10	72.5	5.14	1.63	0.83	0.94	1.75	0.24
11	75	4.99	1.59	0.80	0.91	1.71	0.23
12	77.5	4.85	1.56	0.78	0.89	1.66	0.23
13	80	4.72	1.53	0.76	0.87	1.62	0.22
14	82.5	4.59	1.49	0.74	0.84	1.58	0.21
15	85	4.48	1.47	0.72	0.82	1.54	0.21
16	87.5	4.36	1.44	0.71	0.80	1.51	0.20
17	90	4.26	1.41	0.69	0.78	1.48	0.20
18	92.5	4.16	1.39	0.67	0.77	1.44	0.20
19	95	4.06	1.36	0.66	0.75	1.41	0.19
20	97.5	3.97	1.34	0.64	0.73	1.39	0.19
21	100	3.89	1.32	0.63	0.72	1.36	0.18

Tabla 33. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor chocolate a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	324.640481	5	64.9280961	340.173072
error	22.9041396	120	0.19086783	$\alpha=0.05$
TOTAL	347.54462	125	F 120,5	2.2898513
			Conclusión	H1

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.445

Tabla 34. Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor arroz.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	arroz BS 4.5% (Pa*s)	arroz LL 4.5% (Pa*s)	arroz LD 4.5% (Pa*s)	atole arroz (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	2.08	2.41	2.76	0.30
2	52.5	6.80	2.01	2.00	2.32	2.66	0.29
3	55	6.53	1.95	1.92	2.24	2.57	0.28
4	57.5	6.28	1.90	1.85	2.17	2.48	0.27
5	60	6.05	1.84	1.78	2.10	2.40	0.26
6	62.5	5.84	1.79	1.72	2.04	2.33	0.25
7	65	5.65	1.75	1.66	1.98	2.26	0.24
8	67.5	5.47	1.71	1.61	1.93	2.20	0.24
9	70	5.30	1.67	1.56	1.88	2.14	0.23
10	72.5	5.14	1.63	1.51	1.83	2.08	0.22
11	75	4.99	1.59	1.47	1.78	2.03	0.22
12	77.5	4.85	1.56	1.43	1.74	1.98	0.21
13	80	4.72	1.53	1.39	1.70	1.93	0.21
14	82.5	4.59	1.49	1.35	1.66	1.88	0.20
15	85	4.48	1.47	1.32	1.62	1.84	0.20
16	87.5	4.36	1.44	1.29	1.59	1.80	0.19
17	90	4.26	1.41	1.25	1.56	1.76	0.19
18	92.5	4.16	1.39	1.23	1.53	1.73	0.18
19	95	4.06	1.36	1.20	1.50	1.69	0.18
20	97.5	3.97	1.34	1.17	1.47	1.66	0.18
21	100	3.89	1.32	1.15	1.44	1.63	0.17

Tabla 35. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor arroz a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	284.3681599	5	56.87363197	264.9811446
error	25.7559301	120	0.214632751	$\alpha=0.05$
TOTAL	310.12409	125	F 120,5	2.28985128
			Conclusión	H1

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.469

Tabla 36. Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor vainilla 1.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	Vain BS 4.5% (Pa*s)	vain LL 4.5% (Pa*s)	vain LD 4.5% (Pa*s)	atole vainilla <sup>1</sup> (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.34	1.61	1.77	0.34
2	52.5	6.80	2.01	1.29	1.55	1.7	0.33
3	55	6.53	1.95	1.23	1.5	1.64	0.32
4	57.5	6.28	1.90	1.19	1.45	1.59	0.3
5	60	6.05	1.84	1.14	1.4	1.53	0.29
6	62.5	5.84	1.79	1.1	1.35	1.48	0.28
7	65	5.65	1.75	1.06	1.31	1.44	0.27
8	67.5	5.47	1.71	1.03	1.28	1.4	0.27
9	70	5.30	1.67	1	1.24	1.36	0.26
10	72.5	5.14	1.63	0.97	1.21	1.32	0.25
11	75	4.99	1.59	0.94	1.17	1.28	0.24
12	77.5	4.85	1.56	0.91	1.14	1.25	0.24
13	80	4.72	1.53	0.89	1.12	1.22	0.23
14	82.5	4.59	1.49	0.86	1.09	1.19	0.23
15	85	4.48	1.47	0.84	1.06	1.16	0.22
16	87.5	4.36	1.44	0.82	1.04	1.14	0.21
17	90	4.26	1.41	0.8	1.02	1.11	0.21
18	92.5	4.16	1.39	0.78	1	1.09	0.2
19	95	4.06	1.36	0.76	0.98	1.06	0.2
20	97.5	3.97	1.34	0.74	0.96	1.04	0.2
21	100	3.89	1.32	0.73	0.94	1.02	0.19

Tabla 37. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor vainilla<sup>1</sup> a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	314.2475895	5	62.8495179	325.3270941
error	23.18264382	120	0.193188698	$\alpha=0.05$
TOTAL	337.4302333	125	F 4,3	2.28985128
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.443

Tabla 38. .Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor fresa.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	fresa BS 4.5% (Pa*s)	fresa LL 4.5% (Pa*s)	fresa LD 4.5% (Pa*s)	atole fresa (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.46	1.46	1.47	0.35
2	52.5	6.80	2.01	1.41	1.40	1.42	0.34
3	55	6.53	1.95	1.35	1.35	1.37	0.33
4	57.5	6.28	1.90	1.30	1.31	1.33	0.31
5	60	6.05	1.84	1.26	1.26	1.28	0.30
6	62.5	5.84	1.79	1.22	1.22	1.25	0.29
7	65	5.65	1.75	1.18	1.18	1.21	0.29
8	67.5	5.47	1.71	1.14	1.15	1.18	0.28
9	70	5.30	1.67	1.11	1.11	1.14	0.27
10	72.5	5.14	1.63	1.08	1.08	1.11	0.26
11	75	4.99	1.59	1.05	1.05	1.09	0.25
12	77.5	4.85	1.56	1.02	1.03	1.06	0.25
13	80	4.72	1.53	1.00	1.00	1.03	0.24
14	82.5	4.59	1.49	0.97	0.98	1.01	0.24
15	85	4.48	1.47	0.95	0.95	0.99	0.23
16	87.5	4.36	1.44	0.93	0.93	0.97	0.23
17	90	4.26	1.41	0.90	0.91	0.95	0.22
18	92.5	4.16	1.39	0.88	0.89	0.93	0.22
19	95	4.06	1.36	0.87	0.87	0.91	0.21
20	97.5	3.97	1.34	0.85	0.85	0.89	0.21
21	100	3.89	1.32	0.83	0.84	0.87	0.20

Tabla 39 Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor fresa a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	318.616686	5	63.7233372	344.848641
error	22.1743674	120	0.18478639	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	340.791053	125	F 120,5	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.438

Tabla 40. Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor nuez.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	nuez BS 4.5% (Pa*s)	nuez LL 4.5% (Pa*s)	nuez LD 4.5% (Pa*s)	atole nuez (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.62	1.46	2.04	0.75
2	52.5	6.80	2.01	1.55	1.40	1.96	0.72
3	55	6.53	1.95	1.48	1.35	1.89	0.70
4	57.5	6.28	1.90	1.43	1.31	1.82	0.67
5	60	6.05	1.84	1.37	1.26	1.76	0.65
6	62.5	5.84	1.79	1.33	1.22	1.70	0.63
7	65	5.65	1.75	1.28	1.18	1.65	0.61
8	67.5	5.47	1.71	1.24	1.15	1.60	0.59
9	70	5.30	1.67	1.20	1.11	1.55	0.57
10	72.5	5.14	1.63	1.16	1.08	1.51	0.56
11	75	4.99	1.59	1.13	1.05	1.46	0.54
12	77.5	4.85	1.56	1.10	1.03	1.43	0.53
13	80	4.72	1.53	1.06	1.00	1.39	0.52
14	82.5	4.59	1.49	1.04	0.98	1.35	0.50
15	85	4.48	1.47	1.01	0.95	1.32	0.49
16	87.5	4.36	1.44	0.98	0.93	1.29	0.48
17	90	4.26	1.41	0.96	0.91	1.26	0.47
18	92.5	4.16	1.39	0.94	0.89	1.23	0.46
19	95	4.06	1.36	0.91	0.87	1.21	0.45
20	97.5	3.97	1.34	0.89	0.85	1.18	0.44
21	100	3.89	1.32	0.87	0.84	1.16	0.43

Tabla 41. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor nuez a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	318.616686	5	63.7233372	344.848641
error	22.1743674	120	0.18478639	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	340.791053	125	F 120,5	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.45

Tabla 42. Valores de viscosidad para las bebidas espesadas con fécula de maíz sabor vainilla 2.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	vain BS 4.5% (Pa*s)	vain LL 4.5% (Pa*s)	Vain LD 4.5% (Pa*s)	atole vainilla <sup>2</sup> (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.198	0.960	2.512	0.726
2	52.5	6.80	2.01	1.149	0.924	2.414	0.698
3	55	6.53	1.95	1.104	0.891	2.324	0.672
4	57.5	6.28	1.90	1.064	0.860	2.242	0.649
5	60	6.05	1.84	1.026	0.832	2.165	0.627
6	62.5	5.84	1.79	0.991	0.806	2.094	0.607
7	65	5.65	1.75	0.958	0.781	2.029	0.588
8	67.5	5.47	1.71	0.928	0.758	1.967	0.570
9	70	5.30	1.67	0.900	0.737	1.910	0.554
10	72.5	5.14	1.63	0.874	0.717	1.856	0.538
11	75	4.99	1.59	0.849	0.698	1.806	0.524
12	77.5	4.85	1.56	0.825	0.681	1.758	0.510
13	80	4.72	1.53	0.803	0.664	1.713	0.497
14	82.5	4.59	1.49	0.783	0.648	1.671	0.485
15	85	4.48	1.47	0.763	0.633	1.631	0.474
16	87.5	4.36	1.44	0.745	0.619	1.593	0.463
17	90	4.26	1.41	0.727	0.605	1.557	0.452
18	92.5	4.16	1.39	0.710	0.592	1.522	0.442
19	95	4.06	1.36	0.694	0.580	1.490	0.433
20	97.5	3.97	1.34	0.679	0.568	1.458	0.424
21	100	3.89	1.32	0.665	0.557	1.429	0.416

Tabla 43. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor vainilla<sup>2</sup> a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	314.247589	5	62.8495179	325.327094
error	23.1826438	120	0.1931887	$\alpha=0.05$
TOTAL	337.430233	125	F 120,5	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.448



Tabla 44. Valores de viscosidad para las bebidas base agua espesadas con fécula de maíz al 4.5%.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	B. Jugo de manzana 4.5% (Pa*s)	Agua de Jamaica 4.5% (Pa*s)	Agua de Jamaica c/Az 4.5% (Pa*s)	Agua 4.5% (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	1.046	0.883	1.163	1.072
2	52.5	6.80	2.01	1.002	0.844	1.113	1.025
3	55	6.53	1.95	0.962	0.808	1.067	0.982
4	57.5	6.28	1.90	0.925	0.776	1.024	0.943
5	60	6.05	1.84	0.891	0.745	0.985	0.906
6	62.5	5.84	1.79	0.859	0.718	0.950	0.873
7	65	5.65	1.75	0.830	0.692	0.916	0.842
8	67.5	5.47	1.71	0.803	0.668	0.885	0.813
9	70	5.30	1.67	0.778	0.646	0.856	0.786
10	72.5	5.14	1.63	0.754	0.625	0.830	0.761
11	75	4.99	1.59	0.732	0.606	0.804	0.738
12	77.5	4.85	1.56	0.711	0.588	0.781	0.716
13	80	4.72	1.53	0.692	0.570	0.758	0.695
14	82.5	4.59	1.49	0.673	0.554	0.738	0.676
15	85	4.48	1.47	0.656	0.539	0.718	0.658
16	87.5	4.36	1.44	0.639	0.525	0.699	0.640
17	90	4.26	1.41	0.624	0.511	0.681	0.624
18	92.5	4.16	1.39	0.609	0.498	0.665	0.608
19	95	4.06	1.36	0.595	0.486	0.649	0.594
20	97.5	3.97	1.34	0.581	0.475	0.634	0.580
21	100	3.89	1.32	0.568	0.464	0.619	0.566

Tabla 45. Análisis estadístico tipo ANOVA para bebidas base agua FM 4.5% a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	328.391956	5	65.6783911	361.956151
error	21.7744799	120	0.181454	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	350.166435	125	F 120,5	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.434

Tabla 46. Valores de viscosidad para las bebidas base agua espesadas con fécula de maíz 8%-

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Pudín (Pa*s)	Miel (Pa*s)	Agua 8% (Pa*s)	Agua de Jam 8% (Pa*s)	Agua de Jam c/Az 8% (Pa*s)	B. Jugo de manzana 8% (Pa*s)
1	50	7.09	2.08	2.4366	3.3795	3.2687	4.3697
2	52.5	6.80	2.01	2.3325	3.2287	3.1191	4.1608
3	55	6.53	1.95	2.2374	3.0911	2.9829	3.9709
4	57.5	6.28	1.90	2.1501	2.9651	2.8583	3.7976
5	60	6.05	1.84	2.0697	2.8493	2.7438	3.6387
6	62.5	5.84	1.79	1.9955	2.7425	2.6384	3.4926
7	65	5.65	1.75	1.9267	2.6436	2.5409	3.3578
8	67.5	5.47	1.71	1.8627	2.5519	2.4505	3.2329
9	70	5.30	1.67	1.8030	2.4665	2.3664	3.1170
10	72.5	5.14	1.63	1.7473	2.3868	2.2880	3.0091
11	75	4.99	1.59	1.6951	2.3122	2.2147	2.9084
12	77.5	4.85	1.56	1.6460	2.2424	2.1461	2.8142
13	80	4.72	1.53	1.5999	2.1767	2.0817	2.7259
14	82.5	4.59	1.49	1.5565	2.1149	2.0211	2.6430
15	85	4.48	1.47	1.5154	2.0566	1.9640	2.5650
16	87.5	4.36	1.44	1.4766	2.0016	1.9101	2.4914
17	90	4.26	1.41	1.4398	1.9495	1.8591	2.4219
18	92.5	4.16	1.39	1.4050	1.9001	1.8109	2.3562
19	95	4.06	1.36	1.3718	1.8533	1.7651	2.2939
20	97.5	3.97	1.34	1.3403	1.8088	1.7216	2.2349
21	100	3.89	1.32	1.3103	1.7664	1.6803	2.1788

Tabla 47. Análisis estadístico tipo ANOVA para bebidas base agua FM 8% a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	177.822023	5	35.5644045	105.099887
error	40.6064048	120	0.33838671	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	218.428428	125	F 120,5	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.67

Valor DMSH=0.592

### CUESTIONARIO DE NIVEL DE AGRADO DE BEBIDAS TEXTURIZADAS

#### INVITACIÓN

El día de hoy estamos realizando un estudio sobre bebidas texturizadas y nos gustaría contar con su opinión, ¿sería usted tan amable de permitirme hacerle unas breves preguntas? le recuerdo que su opinión es muy importante para el estudio que estamos realizando.

Nombre (opcional)

Edad:

Género: M F

1. ¿Con qué frecuencia acostumbra consumir productos lácteos?

- |                                 |   |                  |
|---------------------------------|---|------------------|
| De 2 a 3 veces por semana.....  | 1 | <b>Alto</b>      |
| Una vez por semana .....        | 2 | <b>Medio</b>     |
| Una vez cada dos semanas .....  | 3 | <b>Medio</b>     |
| Una vez cada tres semanas ..... | 4 | <b>Bajo</b>      |
| Una vez al mes.....             | 5 | <b>Bajo</b>      |
| Una vez cada 2 ó 6 meses .....  | 6 | <b>Ocasional</b> |

2. ¿Qué tipo de leche consume con mayor frecuencia?

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| Leche entera .....      | 1 |
| Leche light.....        | 2 |
| Leche deslactosada..... | 3 |
| Bebida de soya.....     | 4 |
| Otro (especificar)..... | 5 |

3. ¿Cuál es su consistencia favorita para algún producto lácteo?

- |                   |   |
|-------------------|---|
| Tipo agua .....   | 1 |
| Tipo néctar ..... | 2 |
| Tipo miel.....    | 3 |
| Tipo pudín .....  | 4 |

4. ¿Suele consumir atoles? ..... si no

5. ¿Suele consumir natillas? ..... si no

6. ¿Alguna vez ha consumido bebidas texturizadas?..... si no

#### EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS

Frente a usted se presentan dos muestras de bebidas texturizadas. Inicie probando la muestra de la izquierda e indique cuanto le gusta la muestra con base en los atributos de apariencia, olor, sabor, textura, grumosidad y el producto en general. ENJUAGUESE con agua al terminar de evaluar la muestra o si lo prefiere coma un trozo de galleta.

Por favor dígame ¿Qué tanto le gustó cada atributo del producto que acaba de probar? En una escala del 1 al 9, donde el 9 significa que le gustó muchísimo y 1 que le disgustó muchísimo (Ver tabla 1); coloque el número que corresponda a su agrado en la Tabla 2. Una vez evaluada la primera muestra, siga el mismo procedimiento para evaluar el resto de las muestras de izquierda a derecha.

### Escala Hedónica

ME GUSTÓ MUCHISIMO	ME GUSTÓ MUCHO	ME GUSTÓ	ME GUSTÓ UN POCO	NI ME GUSTÓ NI ME DISGUSTÓ	ME DISGUSTÓ UN POCO	ME DISGUSTÓ	ME DISGUSTÓ MUCHO	ME DISGUSTÓ MUCHISIMO
9	8	7	6	5	4	3	2	1

Tabla de llenado de resultados

Código de la Muestra	Apariencia	Olor	Sabor	Textura	Grumosidad	Agrado General
252						
520						
101						
200						

7. ¿Cómo describiría la sensación al deglutir (pasar) estas muestras?
8. ¿Estaría dispuesto a incluir alguna de estas bebidas texturizadas en su dieta?
9. ¿Qué fue lo que más le gusto del producto?
10. ¿Qué fue lo que más le disgusto del producto?

**GRACIAS POR PARTICIPAR**

Anexo 4. Análisis estadísticos de pruebas afectivas

**Tabla 48. Resultados de la prueba de apariencia de nivel de agrado.**

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	7	5	7	4
2	7	7	7	7
3	8	7	8	6
4	8	7	7	3
5	7	7	8	7
6	7	7	7	6
7	8	7	7	4
8	7	8	8	7
9	8	8	8	4
10	8	7	5	2
11	5	5	6	4
12	7	5	9	4
13	7	8	8	6
14	9	5	8	2
15	7	8	9	7
16	6	6	8	5
17	8	7	8	2
18	7	4	5	1
19	9	7	8	6
20	5	6	6	6
21	6	3	3	3
22	7	7	7	7
23	8	9	9	7
24	7	4	7	6
25	7	4	6	8
26	8	9	8	6
27	5	6	5	4
28	8	7	9	6
29	7	6	8	4
30	7	6	7	4
31	8	8	6	7
32	6	6	7	3
33	8	7	8	7
34	8	7	8	7
35	8	6	6	5
36	5	5	5	1
37	5	6	5	3

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	8	8	5	3
39	7	6	4	2
40	7	3	8	4
41	6	6	5	6
42	7	5	5	4
43	8	8	8	8
44	7	5	5	4
45	7	4	7	4
46	8	5	8	4
47	6	8	2	7
48	7	5	7	3
49	8	7	8	7
50	7	8	7	6
51	7	6	7	4
52	7	8	8	7
53	5	8	3	4
54	6	4	8	6
55	6	5	7	6
56	5	6	7	4
57	7	7	7	2
58	2	6	7	5
59	8	7	8	4
60	7	6	6	6

Tabla 49. Análisis estadístico tipo ANOVA para apariencia de nivel de agrado a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	177.822023	5	35.5644045	105.099887
error	40.6064048	120	0.33838671	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	<b>218.428428</b>	<b>125</b>	<b>F 120,5</b>	<b>2.2898513</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

q (Tukey)= 3.609

DMSH=0.7

Tabla 50. Resultados de la prueba de olor de nivel de agrado.

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	6	8	5	5
2	8	8	4	7
3	9	9	5	7
4	7	7	6	6
5	8	8	5	7
6	7	9	7	8
7	7	6	5	4
8	7	8	8	8
9	9	8	6	6
10	8	9	4	5
11	7	7	6	6
12	7	6	7	6
13	7	7	6	8
14	8	7	5	9
15	7	8	5	9
16	7	8	5	7
17	8	8	5	8
18	9	3	1	8
19	8	9	7	6
20	4	6	6	8
21	8	6	3	6
22	8	8	7	8
23	9	7	5	8
24	6	6	4	8
25	8	7	5	9
26	8	9	5	7
27	6	7	5	6
28	8	7	5	8
29	8	8	5	6
30	7	7	5	5
31	8	8	5	8
32	8	6	2	2
33	7	8	5	8
34	9	8	5	6
35	8	8	7	5
36	6	7	3	5
37	6	7	5	7

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	8	9	6	6
39	7	9	5	9
40	6	7	7	6
41	6	7	3	7
42	7	7	3	5
43	7	9	5	9
44	5	7	5	5
45	7	7	5	8
46	7	8	5	8
47	8	8	2	8
48	7	5	7	3
49	9	9	5	9
50	8	8	6	8
51	8	8	8	7
52	8	8	6	8
53	8	8	3	8
54	8	7	6	9
55	7	7	7	7
56	8	7	5	5
57	7	8	5	8
58	8	6	1	6
59	6	6	8	6
60	7	7	4	6

Tabla 51. Análisis estadístico tipo ANOVA para olor de nivel de agrado a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	214.831967	3	71.6106557	40.3906611
error	425.508197	240	1.77295082	$\alpha=0.05$
TOTAL	640.340164	243	F 3, 240	<b>2.6422</b>
			Conclusión	H1

q (Tukey)= 3.609

DMSH=0.6



Tabla 52. Resultados de la prueba de sabor de nivel de agrado.

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	6	4	7	6
2	6	8	6	7
3	3	9	8	5
4	2	7	7	7
5	5	6	7	7
6	8	8	7	8
7	4	4	7	3
8	6	7	8	7
9	6	7	3	7
10	8	6	7	5
11	4	5	6	3
12	6	5	9	6
13	7	6	8	7
14	3	1	9	1
15	6	7	8	4
16	3	4	2	7
17	8	3	2	6
18	8	2	6	3
19	8	8	9	8
20	5	7	7	8
21	7	7	4	7
22	6	7	5	7
23	7	6	7	8
24	5	4	6	8
25	6	4	4	5
26	9	5	6	4
27	6	6	4	6
28	9	5	9	4
29	7	6	4	5
30	7	5	8	5
31	6	7	4	8
32	4	4	7	2
33	8	6	8	8
34	9	7	6	5
35	8	8	6	5
36	4	4	4	5
37	7	5	8	5

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	6	6	6	6
39	6	6	6	7
40	4	6	4	5
41	4	6	3	6
42	5	7	2	3
43	7	7	6	8
44	7	5	7	5
45	6	8	4	7
46	6	6	3	6
47	5	4	6	8
48	4	4	4	5
49	8	8	8	8
50	7	7	6	7
51	8	7	2	8
52	7	8	6	7
53	8	9	6	6
54	8	6	7	7
55	5	4	4	6
56	6	3	2	3
57	6	4	3	6
58	4	4	2	3
59	9	4	9	2
60	7	7	5	5

Tabla 53. Análisis estadístico tipo ANOVA para sabor de nivel de agrado a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	7.29098361	3	2.43032787	0.7137985
error	817.147541	240	3.40478142	$\alpha=0.05$
TOTAL	824.438525	243	F 3, 240	<b>2.6422</b>
			Conclusión	H0

Tabla 54. Resultados de la prueba de textura de nivel de agrado.

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	8	6	4	4
2	7	8	6	6
3	8	8	8	6
4	6	6	5	5
5	6	7	7	6
6	8	8	7	7
7	5	4	6	6
8	6	8	8	7
9	7	6	6	6
10	5	4	5	6
11	4	3	4	5
12	6	6	9	5
13	7	7	7	7
14	3	1	8	3
15	6	7	8	6
16	6	7	4	8
17	8	7	8	6
18	7	2	5	1
19	8	6	8	7
20	5	7	7	6
21	5	6	5	6
22	6	7	6	7
23	8	7	9	6
24	7	4	6	7
25	7	5	7	6
26	9	6	8	4
27	5	4	5	8
28	7	6	9	6
29	7	8	5	6
30	7	5	7	5
31	5	8	5	8
32	5	6	5	6
33	8	5	7	7
34	9	6	8	7
35	8	6	6	5
36	5	2	5	2
37	8	5	5	4

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	7	8	6	6
39	8	4	4	7
40	5	3	8	4
41	5	6	5	6
42	5	8	4	8
43	8	7	7	7
44	7	6	7	3
45	6	7	4	7
46	8	6	5	4
47	3	8	6	9
48	5	3	6	4
49	8	8	8	8
50	7	8	7	5
51	9	6	5	8
52	7	6	7	7
53	4	8	2	6
54	7	5	9	7
55	6	5	7	7
56	7	7	5	4
57	7	4	7	4
58	8	3	4	3
59	9	5	8	3
60	6	8	5	5

Tabla 55. Análisis estadístico tipo ANOVA para textura de nivel de agrado a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	25.0942623	3	8.3647541	3.13244999
error	640.885246	240	2.67035519	$\alpha=0.05$
TOTAL	665.979508	243	F 3, 240	<b>2.6422</b>
			Conclusión	H1

q (Tukey)= 3.609

DMSH=0.6

Tabla 56. Resultados de la prueba de grumosidad de nivel de agrado.

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	7	4	3	4
2	7	8	7	7
3	8	8	9	4
4	7	4	5	4
5	7	6	5	4
6	9	7	8	7
7	6	7	7	6
8	6	8	8	7
9	5	6	5	6
10	7	8	5	7
11	2	5	3	5
12	8	7	8	5
13	6	6	7	6
14	4	1	8	2
15	4	8	8	4
16	6	5	5	3
17	8	4	8	6
18	6	2	5	2
19	8	4	8	4
20	6	6	5	6
21	5	4	5	5
22	8	7	8	6
23	7	8	5	6
24	6	4	7	7
25	8	4	7	6
26	9	5	8	4
27	5	4	5	7
28	6	4	9	6
29	8	8	6	5
30	9	4	9	4
31	5	8	5	8
32	6	5	5	5
33	5	5	5	6
34	9	6	8	7
35	7	6	6	5
36	6	4	5	2
37	9	4	8	7

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	9	8	9	7
39	8	3	6	8
40	5	3	5	4
41	5	6	3	6
42	7	6	8	7
43	7	7	7	7
44	7	6	7	3
45	7	7	8	6
46	8	4	7	4
47	4	2	7	9
48	4	3	6	4
49	8	8	8	8
50	7	6	7	4
51	9	4	7	4
52	7	7	7	6
53	3	7	2	6
54	8	6	9	4
55	5	4	7	7
56	5	5	7	4
57	8	5	7	4
58	3	3	4	4
59	9	2	9	1
60	7	7	5	6

Tabla 57. Análisis estadístico tipo ANOVA para grumosidad de nivel de agrado a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	78.6065574	3	26.2021858	8.24627026
error	762.590164	240	3.17745902	$\alpha=0.05$
TOTAL	841.196721	243	F 3, 240	<b>2.6422</b>
			Conclusión	H1

q (Tukey)= 3.609

DMSH=0.6

Tabla 58. Resultados de la prueba de nivel de agrado en general.

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
1	7	5	6	5
2	6	7	6	6
3	4	8	9	6
4	6	7	5	7
5	5	6	7	6
6	8	8	7	7
7	6	3	7	5
8	6	8	8	7
9	7	7	4	6
10	7	8	7	6
11	4	4	4	5
12	7	6	9	5
13	7	6	7	7
14	6	2	8	2
15	6	8	9	6
16	4	5	3	7
17	8	6	2	4
18	8	2	4	3
19	8	7	9	7
20	5	6	6	7
21	6	5	4	7
22	6	7	6	6
23	7	6	8	7
24	6	4	7	8
25	6	5	5	6
26	9	8	8	4
27	6	6	4	7
28	8	7	9	6
29	7	7	5	5
30	7	5	8	5
31	7	8	4	8
32	6	7	7	5
33	8	4	8	7
34	9	7	7	7
35	8	8	6	5
36	5	3	5	3
37	7	4	7	4

#	B soya	B soya text (arroz)	Leche light	Leche light text (choc)
38	7	7	6	5
39	7	5	4	7
40	4	3	4	4
41	5	6	4	6
42	6	8	3	5
43	7	8	6	8
44	6	4	7	5
45	6	7	3	8
46	7	6	4	6
47	5	7	6	9
48	4	3	6	5
49	8	8	8	8
50	7	7	6	6
51	8	4	4	8
52	7	8	7	7
53	6	8	3	7
54	8	6	7	6
55	6	6	6	7
56	7	3	4	4
57	7	5	4	5
58	4	4	2	3
59	9	4	9	3
60	7	8	5	6

Tabla 59. Análisis estadístico tipo ANOVA para nivel de agrado en general a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
<b>tratamiento</b>	11.6393443	3	3.87978142	1.37383901
<b>error</b>	677.770492	240	2.82404372	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	689.409836	243	F 3, 240	<b>2.6422</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H0</b>



Anexo 5. Análisis estadístico de la prueba de corte

Tabla 60. Valores de viscosidad para las bebidas base espesadas con fécula de maíz.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Miel (Pa*s)	arroz BS 4.5% (Pa*s)	choc LD 4.5% (Pa*s)	Vain LL 5.2% (Pa*s)	Manzana BJ 5.8% (Pa*s)
1	50	2.08	2.0588	2.4203	3.2783	1.4624
2	52.5	2.01	2.0030	2.3349	3.1506	1.3950
3	55	1.95	1.9522	2.2563	3.0335	1.3337
4	57.5	1.90	1.8759	2.1837	2.9257	1.2777
5	60	1.84	1.8435	2.1163	2.8261	1.2262
6	62.5	1.79	1.7745	2.0537	2.7337	1.1788
7	65	1.75	1.7387	1.9953	2.6478	1.1350
8	67.5	1.71	1.7058	1.9406	2.5677	1.0943
9	70	1.67	1.6454	1.8894	2.4928	1.0566
10	72.5	1.63	1.6173	1.8412	2.4226	1.0214
11	75	1.59	1.5814	1.7958	2.3567	0.9884
12	77.5	1.56	1.5473	1.7530	2.2946	0.9576
13	80	1.53	1.5151	1.7125	2.2361	0.9287
14	82.5	1.49	1.4745	1.6742	2.1808	0.9015
15	85	1.47	1.4454	1.6378	2.1284	0.8759
16	87.5	1.44	1.4176	1.6032	2.0788	0.8517
17	90	1.41	1.4012	1.5703	2.0317	0.8288
18	92.5	1.39	1.3859	1.5390	1.9869	0.8072
19	95	1.36	1.3618	1.5090	1.9442	0.7866
20	97.5	1.34	1.3387	1.4805	1.9035	0.7672
21	100	1.32	1.3125	1.4531	1.8647	0.7486

Tabla 61. Análisis estadístico tipo ANOVA para bebidas base agua FM 8% a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	21.3840912	4	5.34602281	62.8382694
error	8.50759077	100	0.08507591	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	29.891682	104	F 100,4	<b>2.4626149</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 3.93

Valor DMSH=0.237

## Anexo 6. Hoja de cálculo para velocidad de elongación y viscosidad extensional

Como las instrucciones lo detallan, se selecciona la contracción y sensor utilizados.

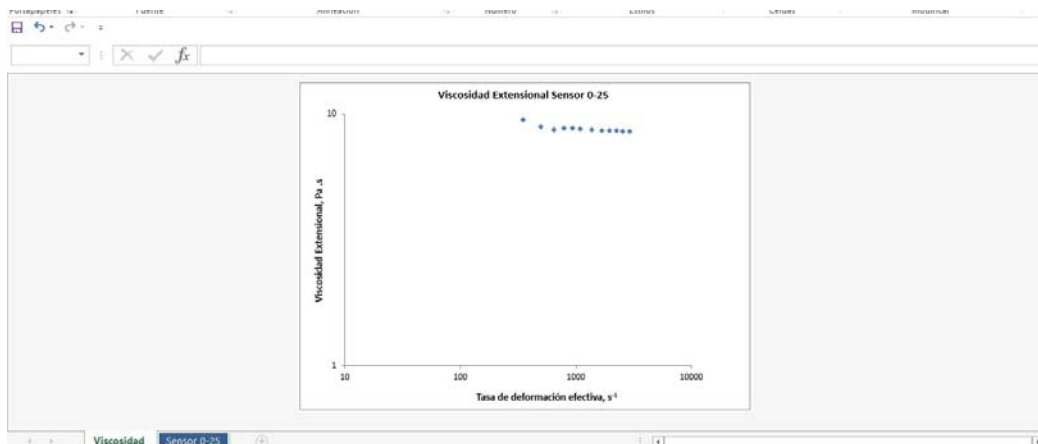
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M																																
1	Instrucciones																																												
2	1. Seleccionar la contracción y sensor utilizados en la medición de la viscosidad extensional en las celdas B12 y B14.																																												
3	2. Colocar los datos de voltaje promedio obtenidos de las hojas de cálculo.																																												
4	3. Los datos de viscosidad extensional y velocidad de elongación, aparecerán en las columnas K y L y la gráfica en la hoja correspondiente.																																												
5																																													
6	% de carga se convierte a velocidad en RPM, $RPM=0.291*\%$																																												
7	el promedio de los voltajes emitidos por el sensor se convierte a presión en Pa, esta conversión depende del sensor que se este usando.																																												
8	la presión se calibra con las curvas de calibración para cada uno de los sensores y contracción																																												
9	la velocidad se convierte a flujo volumétrico a partir de la curva de flujo de la bomba de lóbulos, $Q=8.33 \times 10^{-7} * RPM$																																												
10	la velocidad de elongación se obtiene a partir del flujo volumétrico, el factor de conversión depende de la contracción que se este usando.																																												
11	la viscosidad extensional se determina a partir de la presión calibrada y el flujo volumétrico y el factor de conversión depende de la contracción que se este usando.																																												
12																																													
13	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Curvas Sensores de Presión</th> <th colspan="4">Curva de calibración de la presión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Contracción 1:8</td> <td>0-5</td> <td><math>\Delta P, Pa = 6894.76 * [0.965 V - 0.224]</math></td> <td colspan="2">Sensor 0-5</td> <td colspan="2"><math>\Delta P_s = 0.366 * \Delta P_m - 731.54</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>0-25</td> <td><math>\Delta P, Pa = [4.828V - 1.123] * 6894.76</math></td> <td colspan="2">Contracción 1:4</td> <td colspan="2"><math>\Delta P_s = 0.4687 * \Delta P_m - 3804.2</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Sensor 0-50</td> <td>0-50</td> <td><math>\Delta P, Pa = [9.657V - 2.246] * 6894.76</math></td> <td colspan="2">Contracción 1:8</td> <td colspan="2"><math>\Delta P_s = 0.7509 * \Delta P_m - 1119.4</math></td> </tr> </tbody> </table>													Curvas Sensores de Presión				Curva de calibración de la presión				Contracción 1:8		0-5	$\Delta P, Pa = 6894.76 * [0.965 V - 0.224]$	Sensor 0-5		$\Delta P_s = 0.366 * \Delta P_m - 731.54$				0-25	$\Delta P, Pa = [4.828V - 1.123] * 6894.76$	Contracción 1:4		$\Delta P_s = 0.4687 * \Delta P_m - 3804.2$		Sensor 0-50		0-50	$\Delta P, Pa = [9.657V - 2.246] * 6894.76$	Contracción 1:8		$\Delta P_s = 0.7509 * \Delta P_m - 1119.4$	
Curvas Sensores de Presión				Curva de calibración de la presión																																									
Contracción 1:8		0-5	$\Delta P, Pa = 6894.76 * [0.965 V - 0.224]$	Sensor 0-5		$\Delta P_s = 0.366 * \Delta P_m - 731.54$																																							
		0-25	$\Delta P, Pa = [4.828V - 1.123] * 6894.76$	Contracción 1:4		$\Delta P_s = 0.4687 * \Delta P_m - 3804.2$																																							
Sensor 0-50		0-50	$\Delta P, Pa = [9.657V - 2.246] * 6894.76$	Contracción 1:8		$\Delta P_s = 0.7509 * \Delta P_m - 1119.4$																																							
17	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Velocidad de elongación</th> <th colspan="4">Viscosidad extensional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2"></td> <td>1:4</td> <td><math>\dot{\epsilon}, 1/s = 1.003 \times 107 Q Q</math></td> <td colspan="2">1:4</td> <td colspan="2"><math>\eta, Pa \cdot s = -3.5959 \times 10^{-8} \Delta P / Q</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>1:8</td> <td><math>\dot{\epsilon}, 1/s = 1.203 \times 108 Q</math></td> <td colspan="2">1:8</td> <td colspan="2"><math>\eta, Pa \cdot s = -1.9984 \times 10^{-8} \Delta P / Q</math></td> </tr> </tbody> </table>													Velocidad de elongación				Viscosidad extensional						1:4	$\dot{\epsilon}, 1/s = 1.003 \times 107 Q Q$	1:4		$\eta, Pa \cdot s = -3.5959 \times 10^{-8} \Delta P / Q$				1:8	$\dot{\epsilon}, 1/s = 1.203 \times 108 Q$	1:8		$\eta, Pa \cdot s = -1.9984 \times 10^{-8} \Delta P / Q$									
Velocidad de elongación				Viscosidad extensional																																									
		1:4	$\dot{\epsilon}, 1/s = 1.003 \times 107 Q Q$	1:4		$\eta, Pa \cdot s = -3.5959 \times 10^{-8} \Delta P / Q$																																							
		1:8	$\dot{\epsilon}, 1/s = 1.203 \times 108 Q$	1:8		$\eta, Pa \cdot s = -1.9984 \times 10^{-8} \Delta P / Q$																																							
18																																													
19																																													
20																																													

De acuerdo a la contracción y sensor seleccionados, la hoja de cálculo considerará las ecuaciones y constantes pertinentes.

Posteriormente se colocan los datos de voltaje promedio en la columna F, la tabla relacionará estos valores con las curvas de presión y recalculará la diferencia de presión de acuerdo a la calibración con glicerina, para así obtener los valores de velocidad de elongación y viscosidad extensional, en las columnas K y L.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
23											
24		% carga de motor	RPM	Voltaje	Presión	$\Delta P$ medido (Pa)	Q Flujo volumétrico, (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P$ calibrado (Pa)	Velocidad de elongación $\dot{\epsilon}, s^{-1}$	$\eta_{exp}$	
25		12	3.492	0.5323	2.894313867	19955.43	2.91E-06	33865.13	350.1	9.52	
26		17	4.947	0.6232	3.772563989	26010.70	4.12E-06	38412.03	496.0	8.93	
27		22	6.402	0.7191	4.698643841	32395.74	5.33E-06	23206.56	641.9	8.69	
28		27	7.857	0.8298	5.786914739	39781.15	6.55E-06	28737.25	787.8	8.77	
29		32	9.312	0.9378	6.810331429	46955.19	7.76E-06	34139.25	933.7	8.79	
30		37	10.767	1.0408	7.80487845	53812.30	8.97E-06	39288.25	1079.6	8.25	
31		47	13.677	1.2423	9.75119794	67231.05	1.14E-05	49364.39	1371.3	8.66	
32		57	16.587	1.4490	11.74673994	80990.25	1.38E-05	59696.18	1663.1	8.63	
33		67	19.497	1.6552	13.73820119	94720.78	1.62E-05	70006.43	1954.9	8.61	
34		77	22.407	1.8581	15.6973501	108228.57	1.87E-05	80149.44	2246.7	8.58	
35		87	25.317	2.0601	17.64816258	121678.79	2.11E-05	90249.20	2538.4	8.55	
36		100	29.1	2.3330	20.28355056	139849.00	2.42E-05	103893.21	2917.7	8.56	
37											
38											

Finalmente, los datos obtenidos se grafican en la hoja de viscosidad.



Anexo 7. Análisis estadístico de las prueba extensionales

Tabla 62. Valores de viscosidad para las bebidas base espesadas con FM para altas velocidades.

Tratamiento	Velocidad s <sup>-1</sup>	Miel (Pa*s)	Pudín (Pa*s)	choc LD 4.5% (Pa*s)	arroz BS 4.5% (Pa*s)	Vain LL 5.2% (Pa*s)	Manzana BJ 5.8% (Pa*s)
1	300	1.912	9.746	3.508	1.949	2.396	4.607
2	400	1.782	8.152	3.349	1.708	2.244	4.120
3	500	1.687	7.097	3.231	1.542	2.132	3.777
4	600	1.613	6.337	3.137	1.419	2.045	3.519
5	700	1.553	5.759	3.061	1.322	1.974	3.314
6	800	1.502	5.300	2.995	1.243	1.914	3.146
7	900	1.459	4.927	2.950	1.178	1.863	3.005
8	1000	1.422	4.615	2.890	1.123	1.819	2.884
9	1100	1.389	4.349	2.846	1.075	1.780	2.779
10	1200	1.360	4.121	2.806	1.033	1.745	2.687
11	1300	1.333	3.921	2.770	0.996	1.713	2.605
12	1400	1.309	3.744	2.737	0.962	1.684	2.531
13	1500	1.287	3.587	2.707	0.932	1.658	2.464
14	1600	1.280	3.446	2.679	0.905	1.633	2.402
15	1700	1.280	3.319	2.653	0.880	1.611	2.346
16	1800	1.280	3.203	2.629	0.858	1.590	2.295
17	1900	1.280	3.098	2.606	0.837	1.570	2.247
18	2000	1.280	3.000	2.585	0.817	1.552	2.203
19	2100	1.280	2.950	2.564	0.799	1.535	2.161
20	2200	1.280	2.950	2.545	0.782	1.519	2.123
21	2300	1.280	2.950	2.527	0.767	1.503	2.086
22	2400	1.280	2.950	2.510	0.752	1.489	2.052
23	2500	1.280	2.950	2.493	0.738	1.475	2.020

Tabla 63. Análisis estadístico tipo ANOVA para bebidas base agua FM 8% a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	176.703194	5	35.3406387	50.2119121
error	92.90553	132	0.70382977	$\alpha=0.05$
<b>TOTAL</b>	269.608724	137	F 125,5	<b>2.2867</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 3.93

Valor DMSH=0.717

Tabla 64. Valores de viscosidad para las bebidas base espesadas con FM para altas velocidades.

Tratamiento	Velocidad $s^{-1}$	Miel (Pa*s)	Pudín (Pa*s)	choc LD 4.5% (Pa*s)	arroz BS 4.5% (Pa*s)	Vain LL 5.2% (Pa*s)	Manzana BJ 5.8% (Pa*s)
1	50	3.622	24.902	5.960	5.724	3.459	6.646
2	60	3.394	21.629	5.678	5.071	3.293	5.733
3	70	3.213	19.199	5.451	4.578	3.159	5.059
4	80	3.064	17.316	5.262	4.189	3.048	4.540
5	90	2.938	15.809	5.100	3.874	2.953	4.126
6	100	2.830	14.573	4.960	3.612	2.870	3.788
7	110	2.736	13.538	4.836	3.391	2.798	3.506
8	120	2.652	12.657	4.726	3.200	2.733	3.268
9	130	2.578	11.898	4.626	3.035	2.675	3.062
10	140	2.511	11.235	4.536	2.889	2.622	2.884
11	150	2.450	10.652	4.454	2.760	2.574	2.727
12	160	2.394	10.133	4.379	2.644	2.529	2.588
13	170	2.343	9.670	4.309	2.540	2.488	2.463
14	180	2.296	9.252	4.244	2.445	2.450	2.352
15	190	2.252	8.873	4.184	2.359	2.415	2.251
16	200	2.211	8.528	4.127	2.280	2.382	2.159
17	210	2.173	8.212	4.074	2.207	2.351	2.075
18	220	2.137	7.922	4.024	2.140	2.322	1.999
19	230	2.104	7.655	3.977	2.078	2.294	1.928
20	240	2.072	7.407	3.933	2.020	2.268	1.862
21	250	2.042	7.177	3.890	1.966	2.243	1.802

Tabla 65. Análisis estadístico tipo ANOVA para bebidas base agua FM 8% a una vía  $\alpha=0.05$ .

	SC	v (GL)	CM	F cal
tratamiento	1496.71575	5	299.34315	63.0507615
error	569.718385	120	4.74765321	$\alpha=0.05$
TOTAL	2066.43413	125	F 125,5	<b>2.2867</b>
			<b>Conclusión</b>	<b>H1</b>

DMSH

q (Tukey)= 4.1

Valor DMSH=1.95