



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

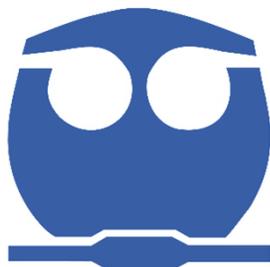
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**BEBIDAS MODIFICADAS CON ALMIDÓN  
PREGELATINIZADO PARA TRATAMIENTO DE DISFAGIA**

**T E S I S**

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

**PRESENTA:  
JUAN ANTONIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: Profesor: ILIANA ELVIRA GONZALEZ HERNANDEZ**

**VOCAL: Profesor: ADELINA ESCAMILLA LOEZA**

**SECRETARIO: Profesor: MARIA SOLEDAD CORDOVA AGUILAR**

**1ER. SUPLENTE: Profesor: ROEB GARCÍA ARRAZOLA**

**2° SUPLENTE: Profesor: JESSICA IVETTE MARQUEZ ZETINA**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PROCESO, CENTRO DE CIENCIA 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:**

---

Juan Antonio Hernández Hernández

# Índice

<b>Índice de Figuras</b> .....	6
<b>Índice de Tablas</b> .....	8
<b>Resumen</b> .....	10
<b>Introducción</b> .....	11
<b>Justificación</b> .....	13
<b>Objetivos</b> .....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos particulares.....	14
<b>Capítulo 1: Marco teórico</b> .....	15
1.1 Deglución .....	15
1.1.1 Disfagia .....	16
1.1.2 Tipos y causas de disfagia .....	17
1.1.3 Complicaciones del paciente con disfagia.....	19
1.1.4 Diagnóstico de la disfagia orofaríngea .....	19
1.1.5 Estrategias para el manejo de pacientes con disfagia orofaríngea .....	21
1.1.6 Importancia de la reología en el tratamiento de la disfagia .....	23
<b>1.2 Reología</b> .....	26
1.2.1 Esfuerzo, flujo y viscosidad.....	26
1.2.2 Fluidos No Newtonianos (Reofluidizante y reoespesante) .....	29
1.2.3 Modelos reológicos.....	30
1.2.4 Fluidos viscoelásticos .....	31
1.2.5 Reología extensional.....	32
<b>1.3 Evaluación Sensorial</b> .....	33
1.3.1 Atributos .....	34
1.3.2 Análisis descriptivo .....	35
1.3.3 Perfil Flash.....	37
1.3.4 Pruebas Afectivas.....	38
1.3.5 Prueba de Preferencia .....	38
1.3.6 Nivel de agrado o escala hedónica.....	39
<b>1.4 Almidón</b> .....	40

1.4.1 Gelatinización del almidón .....	41
1.4.2 Almidones modificados .....	42
1.4.3 Almidón pregelatinizado (APG) .....	43
1.4.4 Aplicaciones del almidón pregelatinizado .....	45
<b>Capítulo 2: Materiales y Metodología .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1 Materiales .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Equipos .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3 Metodología .....</b>	<b>47</b>
2.3.1 Estrategia experimental .....	47
2.3.2 Caracterización reológica de corte y dinámica .....	48
2.3.3 Caracterización Reológica extensional .....	49
2.3.4 Perfil Flash .....	52
2.3.5 Nivel de agrado .....	53
2.3.6 Prueba de Preferencia .....	54
<b>2.4 Análisis estadístico .....</b>	<b>54</b>
<b>Capítulo 3: Resultados .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Aproximación de la caracterización reológica de corte .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Análisis de seguridad para las matrices base acuosa (Reología) .....</b>	<b>56</b>
3.2.1 Reología de corte .....	56
3.2.2 Pruebas reológicas dinámicas .....	60
3.2.3 Reología extensional .....	62
<b>3.3 Análisis de seguridad para las matrices base proteína (reología) .....</b>	<b>65</b>
3.3.1 Reología de corte .....	65
3.3.2 Pruebas reológicas dinámicas .....	68
3.3.3 Reología extensional .....	70
<b>3.4 Perfil Flash de las matrices modificadas .....</b>	<b>73</b>
3.4.1 Perfil Flash para matriz base bebida hidratante .....	73
3.4.2 Perfil Flash para matriz base leche sabor vainilla, leche light y bebida de soya .....	77
3.4.3 Perfil Flash para matriz base bebida de manzana (Consistencia tipo honey y pudding) .....	81
<b>3.5 Nivel de agrado de las matrices modificadas .....</b>	<b>85</b>
3.5.1 Nivel de agrado para apariencia .....	86

3.5.2 Nivel de agrado para olor .....	87
3.5.3 Nivel de agrado para sabor.....	88
3.5.4 Nivel de agrado para textura.....	89
3.5.5 Nivel de agrado general.....	90
3.5.6 Porcentaje de frecuencia de las calificaciones .....	90
3.5.7 Efecto de la edad en el nivel de agrado.....	92
<b>3.6 Orden de preferencia .....</b>	<b>93</b>
<b>3.7 Correlación de los estudios reológicos y la evaluación sensorial.....</b>	<b>95</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>97</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>105</b>
Anexo 1 .....	105
Anexo 2 .....	106
Anexo 3 .....	112
Anexo 4 .....	115
Anexo 5 .....	117

## Índice de Figuras

Figura 1 Etapas de la deglución.....	16
Figura 2 Aspiración vista con VFC. ....	21
Figura 3 Tríada dinámica para el tratamiento de disfagia.....	25
Figura 4 Movimiento de las partículas en un flujo cortante y extensional. ....	27
Figura 5 cizalla simple entre dos placas paralelas.....	28
Figura 6 Reogramas para diferentes comportamientos reológicos.....	29
Figura 7 Cambio de la viscosidad en función de la temperatura durante la gelatinización del almidón.....	42
Figura 8 Ley de la potencia, para una curva de flujo.....	48
Figura 9 Reómetro de orificio de bomba de lóbulos. ....	49
Figura 10 Cabina de evaluación sensorial y juez evaluando el Perfil Flash. ....	52
Figura 11 Consumidores no habituales evaluando las bebidas modificadas con APG.....	54
Figura 12 Curvas de flujo para agua con diversas concentraciones de APG.....	55
Figura 13 Curva de flujo de la bebida hidratante modificada y sin modificar.....	57
Figura 14 Curvas de flujo para la bebida de manzana, con 10%, 7% de APG y sin modificar....	58
Figura 15 Módulos de pérdida y almacenamiento para BH7, BM7 y BM10.....	61
Figura 16 Curvas de flujo extensional de los fluidos de contraste y BH7, para velocidades de elongación baja (a) y velocidades de elongación alta (b).....	62
Figura 17 Curvas de flujo extensional de los fluidos de contraste y BM7, para las velocidades de elongación baja (a) y velocidades de elongación altas (b). ....	63
Figura 18 Curva de flujo para la leche saborizada modificada y sin modificar.....	66
Figura 19 Curva de flujo para la bebida de soya modificada y sin modificar.....	66
Figura 20 Módulos de pérdida y almacenamiento para LV7 y la bebida sin modificar.....	70
Figura 21 Módulos de pérdida y almacenamiento para BSN9 y la bebida sin modificar.....	70
Figura 22 Curvas de flujo extensional para los fluidos de contraste y LV7.....	71
Figura 23 Curvas de flujo extensional para los fluidos de contraste y BSN9.....	71
Figura 24 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de aspecto para BH7 con tres repeticiones.....	73
Figura 25 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para BH7 con tres repeticiones.....	74
Figura 26 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para BH7 con tres repeticiones.....	75
Figura 27 (a) Análisis de componente principales de sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para BH7 con tres repeticiones.....	76
Figura 28 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de aspecto para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones.....	77
Figura 29 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones.....	78
Figura 30 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones.....	79

Figura 31 (a) Análisis de componentes principales para sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones.....	80
Figura 32 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de apariencia para BM7 y BM9.....	81
Figura 33 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para BM7 y BM9 con dos repeticiones.....	82
Figura 34 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para BM7 y BM10 con dos repeticiones .....	83
Figura 35 (a) Análisis de componentes principales de sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para BM7 y BM10 con dos repeticiones.....	84
Figura 36 Nivel de agrado para apariencia de las bebidas modificadas .....	86
Figura 37 Nivel de agrado para olor de las bebidas modificadas .....	87
Figura 38 Nivel de agrado para sabor de las bebidas modificadas.....	88
Figura 39 Nivel de agrado para textura de las bebidas modificadas .....	89
Figura 40 Nivel de agrado general para las bebidas modificadas.....	90
Figura 54 Porcentaje de frecuencia para el ordenamiento de las bebidas modificadas.....	94
Figura 42 Bebida hidratante a diversas concentraciones de APG. ....	106
Figura 43 Bebida de manzana a diversas concentraciones de APG.....	106
Figura 44 Leche saborizada con 6% y 7%.....	107
Figura 45 Leche light con 9% y 8% de APG. ....	107
Figura 46 Bebida de soya con 9% y 6% de APG.....	108
Figura 47 Barridos de porcentaje de deformación para BH7 .....	112
Figura 48 Barrido de porcentaje de deformación para BM7 y BM10 (línea 0.46%) .....	113
Figura 49 Barrido de porcentaje de deformación para LV7 (línea 0.46%) .....	113
Figura 50 Barrido de porcentaje de deformación para BSN9 (línea 0.46%).....	114
Figura 51 Barridos de porcentaje de deformación para LL9 (línea 0.46%).....	114
Figura 52 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de apariencia .....	120
Figura 53 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de olor .....	121
Figura 54 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de sabor.....	122
Figura 55 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de textura .....	123
Figura 56 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado general.....	124

## Índice de Tablas

Tabla 1 Principales causas de la disfagia.....	17
Tabla 2 Valores de viscosidad para las categorías propuestas por la NND .....	24
Tabla 3 Esfuerzos de cizalla estimados en la deglución.....	24
Tabla 4 Tipos de pruebas de preferencia.....	39
Tabla 5 Escala hedónica de 9 puntos .....	40
Tabla 6 Comparación del secado en tambor y cocido por extrusión .....	44
Tabla 7 Composición de las matrices base acuosa por 100 mL.....	46
Tabla 8 Composición de las matrices base proteína por 100 mL.....	46
Tabla 9 Velocidades de elongación.....	51
Tabla 10 Matrices seleccionadas y concentración de APG.....	56
Tabla 11 Parámetros reológicos de las bebidas modificadas y la consistencia igualada.....	59
Tabla 12 Parámetros de la ley de potencia para BH7 y BM7 para flujos extensionales. ....	64
Tabla 13 Parámetros de la ley de potencia para LV7 y BSN9 y la consistencia igualada.....	67
Tabla 14 Parámetros de la ley de potencia para LV7 y BSN9 para flujos extensionales .....	72
Tabla 15 Promedios de las evaluaciones obtenidas sin filtro y con filtro de edad .....	92
Tabla 16 Análisis estadístico para el orden de preferencia .....	93
Tabla 17 Porcentaje de frecuencia para el ordenamiento de las bebidas modificadas .....	94
Tabla 18 Parámetros reológicos, nivel de agrado y preferencia de las bebidas modificadas.....	95
Tabla 19 Parámetros de la ley de potencia para las bebidas modificadas con APG .....	108
Tabla 20 Parámetros de la ley de potencia para los fluidos de contraste .....	108
Tabla 21 Valores de viscosidad aparente recalculados .....	109
Tabla 22 ANOVA1 .....	110
Tabla 23 ANOVA2.....	110
Tabla 24 Parámetros de la prueba Dunnet, para la diferencia de medias .....	110
Tabla 25 Parámetros de la ley de potencia para las bebidas modificadas .....	115
Tabla 26 Parámetros de la ley de potencia para los fluidos de contraste.....	115
Tabla 27 Viscosidades extensionales para velocidades altas de elongación.....	115
Tabla 28 ANOVA para las bebidas modificadas de consistencia honey.....	116
Tabla 29 Prueba t para BSN9 y el fluido de contraste Pudding.....	116
Tabla 30 ANOVA para nivel de agrado de apariencia.....	117
Tabla 31 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa en apariencia .....	117
Tabla 32 ANOVA para nivel de agrado de olor.....	117
Tabla 33 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para olor .....	117
Tabla 34 ANOVA para nivel de agrado de sabor .....	118
Tabla 35 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para sabor.....	118
Tabla 36 ANOVA para nivel de agrado de textura.....	118
Tabla 37 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para textura.....	118
Tabla 38 ANOVA para nivel de agrado general .....	119
Tabla 39 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para nivel de agrado general	119
Tabla 40 Porcentaje de frecuencia de nivel de agrado de apariencia .....	119
Tabla 41 Porcentaje de frecuencia de nivel de agrado de olor.....	120

Tabla 42 Porcentaje de frecuencia de nivel de agrado de sabor..... 121  
Tabla 43 Porcentaje de frecuencia de nivel de agrado de textura ..... 122  
Tabla 44 Porcentaje de frecuencia de los jueces de nivel de agrado general ..... 123

## Resumen

En este trabajo se evaluaron las propiedades reológicas y sensoriales de bebidas modificadas con almidón pregelatinizado (APG), para determinar la pertinencia de utilizar este espesante como alternativa en pacientes con disfagia orofaríngea. Por una parte se hizo una evaluación de las propiedades reológicas ya que éstas determinan la seguridad en la deglución de las bebidas modificadas, comparándolas con las propiedades de suspensiones de sulfato de bario, ( $\text{BaSO}_4$ ) que se tienen como referencia en el diagnóstico de pacientes con disfagia. Por otro lado, se caracterizaron los atributos sensoriales de las bebidas modificadas, su nivel de agrado en consumidores no habituales y el orden de preferencia de las bebidas modificadas.

Para ello se realizó una aproximación con diversas concentraciones de almidón pregelatinizado en agua, en la cual se observó que las bebidas espesadas se comportaron como fluidos reofluidizantes en flujo y en extensión y, en ambos casos obedecieron a la ley de potencia. Del análisis estadístico se seleccionaron las concentraciones de 7 % para generar consistencias tipo *honey* y por lo tanto seguras para la deglución.

Con el perfil flash se describieron los atributos que cambiaron al espesar las bebidas, como fue la apariencia, el sabor y la textura. Después se realizaron dos pruebas afectivas, nivel de agrado y orden de preferencia, en las que se determinó que las bebidas con consistencias más suaves (*honey*) y con sabores familiares a los consumidores son de mayor agrado y por tanto, preferidas. No obstante, en general el nivel de agrado fue calificado por los consumidores como *me gusta poco*.

Utilizar almidón pregelatinizado para generar consistencias tipo *honey* resulta en bebidas seguras y con un perfil sensorial ligeramente agradable, por lo cual es una alternativa para modificar la consistencia de bebidas en el manejo de la disfagia orofaríngea.

## Introducción

La deglución es el proceso por el cual los alimentos son transportados desde la boca hasta el estómago (Barroso, et al., 2012), a la alteración o dificultad en este proceso de deglución, se le conoce como disfagia. Las personas que padecen disfagia, pueden tener alterada la eficacia de la deglución, y por lo tanto, la capacidad para alimentarse e hidratarse de manera óptima, pudiendo aparecer cuadros de desnutrición y deshidratación. Su origen puede ser multifactorial, aunque es un síntoma que aparece en personas con daño cerebral (80% de los casos) o personas con alteraciones en la anatomía de los órganos que intervienen en la deglución (Barroso, et al., 2012). Se clasifica de acuerdo a la localización del problema: en orofaríngea o esofágica (Veitía, 2009).

Hay diversas estrategias para apoyar al tratamiento de la disfagia orofaríngea. La más ampliamente utilizada 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 y así mejorar la seguridad de la deglución (Clavé, et al., 2006; Ney, et al., 2009).

Las propiedades reológicas de los alimentos y del bolo son muy importantes para el proceso de deglución (Zargaraan , et al., 2013). Por tanto se usa la reología para tener la certeza de que los productos modificados son seguros para deglutir en paciente con disfagia. Se recomienda comparar la viscosidad obtenida a 50 y 100 s<sup>-1</sup> con las viscosidades de fluidos de referencia establecidos por la Asociación de Dieta Americana (ADA). La ADA estandarizó 4 categorías de consistencia. La consistencia *thin* (1-50 cP), consistencia *néctar* (51-350 cP), consistencia *honey* (351- 1750 cP) y la consistencia *pudding* (mayor a 1751 cP) (Asociación de Dieta Americana, 2002). Esta comparación es en flujo y se ignoran por completo los efectos extensionales del alimento modificado (Brito, et al., 2012).

Un espesante que se utiliza como aditivo alimentario en diversos productos para mejorar textura y viscosidad es el almidón pregelatinizado (APG). Este espesante tiene la ventaja de incrementar la viscosidad en frío (BeMiller & Huber, 2015) con menor pérdida nutricional ya que el alimento no necesita ser calentado (a diferencia del almidón normal).

Brito-de la Fuente, et al., (2012) propusieron el diseño de suplementos nutricionales orales para el apoyo en el tratamiento de los pacientes con disfagia 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 y cuya consistencia es la reportada por la ADA. Esto permite que la gran variabilidad en la preparación de bebidas espesadas se disminuya o se evite. Sin embargo, no es suficiente que el alimento sea seguro para el paciente, las bebidas modificadas tienen que ser agradables sensorialmente para ser aceptadas por el paciente (Pereira & Van Der Bilt, 2016). En este trabajo se propone la realización de un estudio descriptivo de las muestras espesadas con almidón pregelatinizado a través de un perfil Flash, con lo cual se determinan los atributos que se ven afectados al espesar las bebidas; asimismo, es importante realizar pruebas hedónicas como el nivel de agrado y el orden de preferencia. De esta forma, con los estudios reológicos y sensoriales que se realicen en este trabajo se puede establecer la pertinencia de utilizar almidón pregelatinizado como espesante para apoyar en el tratamiento de los pacientes con disfagia orofaríngea.

## Justificación

La modificación de la viscosidad del bolo es una estrategia ampliamente usada para el consumo de líquidos delgados en personas con disfagia. Existen diversos tipos de aditivos que modifican la viscosidad en los alimentos. A pesar de esto en México no se cuenta con alternativas para el tratamiento de este padecimiento (Soto, 2015). A nivel casero, tradicionalmente se utiliza la fécula de maíz para espesar caldos, salsas y bebidas como los “atoles”. Éste proceso de espesamiento tiene algunas deficiencias como la retrogradación del almidón y la necesidad de calentar para aumentar la viscosidad, lo que ocasiona pérdidas de nutrimentos necesarios para el paciente. 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.

Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación se propuso la elaboración de diferentes bebidas empleando como espesante el almidón pregelatinizado; éste no requiere de calentamiento para el espesamiento y no tiene las deficiencias de la fécula de maíz. Además de la caracterización reológica de viscosidad de corte y ensayos viscoelásticos dinámicos se realizaron ensayos de viscosidad extensional, los cuales se suelen ignorar y son de suma importancia en el proceso de deglución. Con todo esto se puede garantizar la seguridad de deglución de las bebidas espesadas.

Adicionalmente se realizaron evaluaciones sensoriales (perfil Flash) y pruebas afectivas, ya que, además de las características reológicas de las bebidas modificadas, las características sensoriales son importantes para el consumo de cualquier alimento en general.

Con todo esto se buscó la utilización de almidón pregelatinizado como modificador de viscosidad, como alternativa segura y de características sensoriales agradables para la población mexicana con disfagia orofaríngea.

# Objetivos

## Objetivo general

Determinar la viabilidad de utilizar el almidón pregelatinizado para la elaboración de bebidas modificadas con características reológicas y sensoriales adecuadas como alternativa para el tratamiento de personas con disfagia orofaríngea.

## 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 bebidas modificadas con diferentes concentraciones almidón pregelatinizado en un intervalo amplio de velocidades de deformación ( $0.1-1000s^{-1}$ ).
- Realizar ensayos dinámicos de las bebidas modificadas para determinar su estabilidad, cohesividad y homogeneidad.
- Determinar el comportamiento de las bebidas modificadas a esfuerzos de elongación (reología extensional) que refleja de forma más cercana el proceso de deglución.
- Caracterizar las propiedades sensoriales de las bebidas modificadas con una prueba descriptiva como “*Perfil Flash*” para determinar los atributos de apariencia, olor, sabor y textura
- Determinar el nivel de agrado de las matrices modificadas en consumidores no habituales en aspectos como apariencia, olor, sabor, textura y nivel de agrado general.
- Realizar una prueba de preferencia para determinar el orden de agrado de las bebidas modificadas.

# Capítulo 1: Marco teórico.

## 1.1 Deglución

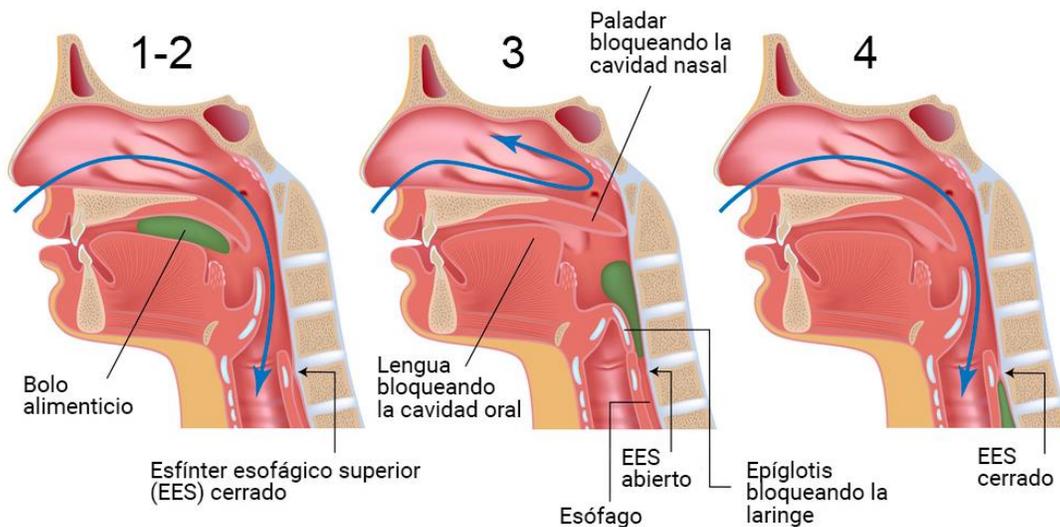
La deglución es el proceso por el cual los alimentos pasan de la boca hasta el estómago. Es un proceso que requiere la integridad física y funcional de las estructuras anatómicas implicadas. Todo esto se debe a una serie de movimientos voluntarios como involuntarios, que están bajo el control del sistema nervioso central (SNC) (Barroso, et al., 2012). El proceso inicia voluntariamente, pero una vez iniciada se continúa de forma reflejada. El inicio voluntario de la deglución requiere la unión de múltiples estímulos sensoriales originados en la orofaringe, los cuales se dirigen a la médula espinal y la corteza cerebral (Veitía, 2009).

La deglución normal se divide en cuatro grandes fases, cualquiera de ellas (con frecuencia más de una) puede estar afectada y originar disfagia (Veitía, 2009):

- **Fase oral preparatoria:** Está bajo control voluntario, el objetivo es la masticación y la formación del bolo. La masticación aporta mensajes aferentes al SNC, que a su vez inicia la estimulación secretora de las glándulas salivales, estómago páncreas e hígado por vía neural o neuroendocrina. El alimento tiene que ser presentado en una posición y consistencia óptima para las siguientes fases de la deglución.
- **Fase oral propulsiva:** También es voluntaria y se caracteriza por la propulsión del bolo por acción de la lengua. Después de preparado, el alimento será posicionado sobre la lengua, que se acoplará al paladar duro, iniciando un movimiento ondulatorio de adelante hacia atrás, 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.
- **Fase faríngea:** Es involuntaria, se inicia por la estimulación de mecanorreceptores faríngeos que envían información al SNC y causan el disparo del denominado patrón motor deglutorio faríngeo (reflejo deglutorio) caracterizado por una secuencia fija y ordenada de acontecimientos motores que ocasionan el cierre de la nasofaringe (elevación del paladar blando) y de la vía respiratoria (elevación y

desplazamiento anterior del hioides, descenso de la epiglotis y cierre de cuerdas vocales), apertura del esfínter esofágico superior (EES) y la contracción de los músculos constrictores faríngeos. La lengua es la principal responsable de la propulsión del bolo y la principal misión de los constrictores faríngeos es aclarar los residuos del bolo que quedan en la hipofaringe.

- **Fase esofágica:** Se inicia con la apertura del EES seguido de la peristalsis esofágica.



**Figura 1 Etapas de la deglución. Tomado de:** (Ruiz de las Heras, 2016)  
**(1) oral preparatoria, (2) oral propulsiva, (3) fase faríngea y (4) fase esofágica**

### 1.1.1 Disfagia

La disfagia se define como la dificultad para deglutir o trasladar los alimentos (sólidos y líquidos) desde la boca hasta el estómago (Zargaraan , et al., 2013). Se origina del griego “*dys*” que significa dificultad y “*phagia*” que significa comer. No debe de ser confundido con odinofagia o la deglución dolorosa, aunque ambas pueden aparecer juntas. La disfagia es un síntoma doloroso y puede tener efectos severos en la salud del paciente. La principal preocupación es la obstrucción de las vías aéreas y el riesgo de aspiración (Berber & Joshi, 2010). Puede estar ocasionado por alteraciones estructurales que dificultan el transporte del bolo, o bien por alteraciones funcionales que pueden afectar a la formación y manejo del bolo en la boca, a la secuencia del reflejo deglutorio y apertura del esfínter esofágico superior (Barroso, et al., 2012).

Los estudios epidemiológicos indican que hay una alta prevalencia de disfagia en los ancianos. De hecho, se sugiere una pérdida de la efectividad peristáltica del esófago con el paso de los años, lo cual puede influir en la deglución o en reflujo del bolo alimenticio. También es cierto que en el anciano aparecen patologías que favorecen la evolución de la disfagia (enfermedad del Parkinson, tumores esofágicos, etc.) (Sánchez, 2009).

### 1.1.2 Tipos y causas de disfagia

Cuando se trata de establecer la etiología de la disfagia resulta útil seguir la misma clasificación que se usa para la evaluación de los síntomas, es decir, distinguir entre las causas que afectan principalmente la faringe y el esófago proximal (disfagia orofaríngea o "alta", DOF), y las causas que más afectan al cuerpo esofágico y la unión esofagogástrica (disfagia esofágica o "baja"). Sin embargo, es cierto que muchos trastornos se superponen y pueden producir tanto disfagia orofaríngea como esofágica (Malagelada, et al., 2014). El historial médico es muy importante, ya que los medicamentos pueden estar implicados en el desarrollo del padecimiento. En la *Tabla 1* se muestran algunas de las causas de la disfagia orofaríngea y de la disfagia esofágica.

Desde un punto de vista fisiopatológico existen dos grandes grupos de causas de la DOF: disfagia estructural (enfermedades que ocasionan alteraciones en la anatomía de los órganos) y disfagia funcional o neurógena (padecimientos que producen déficits neurológicos y/o neuromusculares).

Tabla 1 Principales causas de la disfagia. (Gama & Bozín, 2011)

<b>Disfagia orofaríngea</b>	<b>Disfagia esofágica</b>
<i>Neuromusculares</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfermedad cerebrovascular</li> <li>• Enfermedad de Parkinson</li> <li>• Esclerosis múltiple</li> <li>• Miastenia gravis</li> <li>• Esclerosis lateral amiotrófica</li> <li>• Disfunción idopática del esfínter esofágico superior</li> <li>• Neuropatía diabética</li> </ul>	<i>Trastornos de la motilidad</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acalasia</li> <li>• Espasmo esofágico difuso</li> <li>• Desórdenes inespecíficos de la motilidad esofágica</li> <li>• Esfínter esofágico inferior hipertenso</li> <li>• Esclerodermia y enfermedades reumatológicas</li> </ul>
<i>Estructurales</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Divertículo de Zenker</li> <li>• Osteofito cervical</li> <li>• Absceso retrofaríngeo</li> </ul>	<i>Neuromusculares</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neuropatía diabética</li> <li>• Neuropatía tiroidea</li> <li>• Alcoholismo crónico</li> </ul>

• Membranas esofágicas (proximales).	• Enfermedad de Steiner
Otros • Enfermedad de Alzheimer • Hiposialia	<i>Obstrucción mecánica</i> • Neoplasias • Divertículos • Estrecheces pépticas esofagitis inducida por medicamentos • Estrecheces y anillos • Compresión vascular

La disfagia orofaríngea es una afección importante en hasta el 50% de los pacientes con accidente cerebrovascular, el 44% con esclerosis múltiple, el 60% con esclerosis lateral amiotrófica, el 50% después de una lesión cerebral y el 84% con otras enfermedades neurodegenerativas (Clavé, et al., 2006). La disfagia es un síndrome geriátrico con una prevalencia del 56-78% en los ancianos institucionalizados, y hasta del 44% en los ancianos ingresados en un hospital general (Veitía, 2009).

También se puede dividir según la gravedad del síntoma (Aguar, 2012) en:

- ❖ *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.

### 1.1.3 Complicaciones del paciente con disfagia

Algunas de las complicaciones de la disfagia son (Gama & Bozín, 2011):

- ❖ Aspiración, que tiene como principal y más grave consecuencia las infecciones respiratorias de repetición con una mortalidad de hasta el 50% en la población geriátrica.
- ❖ Malnutrición y deshidratación.
- ❖ Dependencia y aislamiento social.
- ❖ Necesidad de uso de nutrición artificial por sonda y complicaciones derivadas de su colocación, tanto locales (sonda nasogástrica: úlcera por presión, perforación esofágica; gastrostomía endoscópica percutánea: infección de la herida, sangrado, absceso de pared, fascitis necrotizante, fístula), como gastrointestinales (diarrea, íleo, náuseas y vómitos, aumento de reflujo) y generales (neumonía por broncoaspiración, alteraciones metabólicas o electrolíticas).

### 1.1.4 Diagnóstico de la disfagia orofaríngea.

El diagnóstico de la disfagia orofaríngea incluyen mediciones instrumentales y no instrumentales, comúnmente se incluyen ambos tipos. Cada aspecto de la evaluación clínica sirve para un solo propósito, pero contribuye a entender y comprender el problema de la deglución. Las búsquedas de la evaluación clínica proveen información sobre el comportamiento de deglución y la funcionalidad alimenticia, y permite determinar si el paciente va a requerir exploraciones complementarias, e identificar las posibles complicaciones nutricionales y respiratorias.

La evaluación comienza con los métodos clínicos que se mencionan a continuación (Velasco, et al., 2007).

- Una historia médica, con datos sobre neumonías previas, procesos de aspiración, picos febriles, antecedentes de intubación o traqueotomía.
- Estudio del nivel funcional motor, fatigabilidad y control postural.
- Función motora oral y faríngea, exploración de la sensibilidad orofaríngea, de los reflejos velopalatino y deglutorio y de la presencia de tos voluntaria. Se valorará además la presencia de disartria y parálisis facial.

- Un test con texturas, en el que se observe la presencia de apraxia de la deglución, residuos orales, tos o carraspeo al tragar, elevación laríngea reducida, voz húmeda o degluciones múltiples para un mismo bolo.

Existen diversos métodos de diagnóstico, la mayoría se basa en la modificación de la viscosidad de los alimentos y en la respuesta del paciente a dicho líquido. Algunos ejemplos son:

*Test del agua.* Es la metodología para la detección de las disfagias más utilizada en las unidades de diagnóstico y hospitalización. No es posible detectar la existencia de las aspiraciones silentes y/o penetraciones, puede inducir a un diagnóstico erróneo en lo referente a la detección de las alteraciones de la seguridad, y, además, este test no determina en ningún momento si la deglución es eficaz.

*Método de exploración clínica volumen-viscosidad (MECV-V).* Se basa en el hecho de que en los pacientes con disfagia neurógena la disminución del volumen del bolo y el aumento de la viscosidad mejoran la seguridad de la deglución. Además orienta sobre cuáles son la viscosidad y el volumen más adecuado para compensar al paciente y alimentarlo de una manera segura y eficaz.

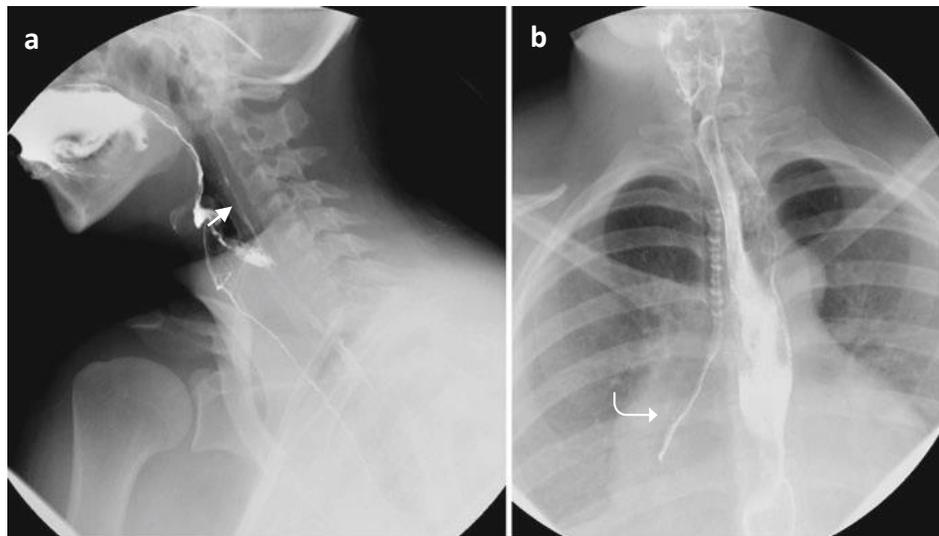
*Fibroendoscopia de la deglución (Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing, FEES).* Se utiliza un fibroscopio flexible conectado a una fuente de luz, y un aparato de vídeo para grabar la secuencia de imágenes de la deglución. Se debe disponer de alimento sólido, y de texturas pudding, néctar y líquida, teñidos con colorante alimentario, para explorar las diferentes texturas y volúmenes. Durante este procedimiento se valora el paso del alimento a la hipofaringe, la penetración y la aspiración, tanto sintomática como silente, así como la capacidad del paciente para liberar los residuos de la vía respiratoria.

#### *Videofluoroscopia (VFS)*

Es una técnica radiológica dinámica que consiste en la obtención de una secuencia en perfil lateral y anteroposterior de la ingesta de varias consistencias de bario líquido (líquido, néctar y pudding) y alimentos sólidos recubiertos con bario para probar la

capacidad de tragar del paciente. Actualmente se considera esta técnica como el patrón de oro del estudio de la disfagia orofaríngea, aunque en ocasiones los estudios deben complementarse con la información proporcionada por la manometría faringoesofágica (Clavé, et al., 2006).

Los objetivos de la videofluoroscopia son evaluar la seguridad y la eficacia de la deglución, caracterizar las alteraciones de la deglución en términos de signos videofluoroscópicos, evaluar la eficacia de los tratamientos y obtener datos cuantitativos de la biomecánica orofaríngea (Veitía, 2009).



**Figura 2 Aspiración vista con VFC. Tomado de: (Dewan, 2015)**  
**(a) vista lateral de la faringe y la laringe, aspiración de bario bajo las cuerdas bucales (flecha), (b) aspiración de bario en el bronquio principal derecho y lóbulo inferior (flecha curva)**

#### 1.1.5 Estrategias para el manejo de pacientes con disfagia orofaríngea.

Existen diversos procedimientos para tratar a los pacientes con disfagia, los cuales se pueden aplicar simultáneamente al tratamiento de cada paciente (Veitía, 2009).

*Estrategias posturales.* Lo principal que se busca es la verticalidad y simetría del paciente durante la ingesta, con especial atención al control de la respiración y del tono muscular. Las estrategias posturales son sencillas y permiten modificar el tamaño de la orofaringe, y de la vía que debe seguir el bolo (Rofes, et al., 2010).

*Praxias neuromusculares.* La meta es mejorar la fisiología de la deglución, (la tonicidad, sensibilidad y la movilidad de las estructuras orales, lengua y labios, y de las estructuras faríngeas). Es posible mejorar el control y la propulsión lingual mediante rehabilitación y técnicas de *biofeedback*. El tratamiento de los pacientes con alteraciones de la apertura del EES como consecuencia de déficits propulsivos debe dirigirse básicamente al incremento en la fuerza de la propulsión del bolo y a la rehabilitación de los mecanismos extrínsecos de apertura del EES, especialmente la acción de la musculatura hioidea (Shaker, et al., 2002).

*Maniobras deglutorias específicas.* Son maniobras que el paciente debe ser capaz de aprender y realizar de forma automatizada. Cada maniobra está específicamente dirigida a compensar alteraciones biomecánicas específicas (Logemann, 1995).

*Estrategias de incremento sensorial.* Estas estrategias son muy útiles, especialmente, en pacientes con apraxia o alteración de la sensibilidad oral (frecuentemente en pacientes mayores) (Logemann, 1995). El objetivo es la iniciación o aceleración de la respuesta de la deglución orofaríngea. Gran parte de la mejora sensorial incluyen estimulación mecánica de la lengua, modificaciones del bolo (temperatura y gusto) o estimulación mecánica de los pilares faríngeos (Rofes, et al., 2010).

*Cambios de volumen y viscosidad del bolo.*

Otra de las estrategias ampliamente usadas, para el consumo de líquidos, es el cambio de la viscosidad de los fluidos delgados (como agua, café, té, etc.), suele tener un mejoramiento significativo, en la penetración y aspiración. Los pacientes con DOF, al tener dificultades para alimentarse, presentan como consecuencia desnutrición y deshidratación. Sin embargo, la disfagia sigue siendo principalmente un problema de transporte que tiene que ser resuelto en primer lugar, antes de pensar en la nutrición, en particular, si la función deglución debe ser estimulada. Idealmente, si los dos problemas se pueden resolver a la vez transfiriendo en condiciones más seguras bolos nutritivos de alta calidad, entonces la calidad de vida de los pacientes disfágicos puede aumentar significativamente (Brito, et al., 2012).

Por esta razón 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 (Ney, et al., 2009).

#### 1.1.6 Importancia de la reología en el tratamiento de la disfagia

Para tratar la disfagia por medio de los cambios de volumen y viscosidad, lo ideal sería que la modificación más apropiada de las consistencias de los alimentos procediera de una evaluación clara del problema de la deglución (Penman & Thomson, 1998). No obstante, esto no es posible en todos los casos, y a menudo los profesionales de la salud confían en las directrices nacionales para la gestión dietética de la disfagia. La National Dysphagia Diet (NDD) (American Dietetic Association, 2002) propone utilizar mediciones de viscosidad a 25 °C y un único esfuerzo de cizalla (50 1/s), aun cuando no se ha presentado evidencia científica para la elección de éstos parámetros.

La NDD ofrece, en un intento de estandarización, cuatro niveles para alimentos sólidos.

Nivel NND1 puré: Alimentos puros, cohesivos, parecidos a un pudín que son homogéneos (sin grumos).

Nivel NND2 Mecánicamente alterado: Alimentos húmedos, cohesivos y de textura blanda.

Nivel NND3 Avanzada: Dieta sólida suave que incluye la mayoría de los alimentos y requiere más capacidad de masticar que la dieta 2.

Nivel NND4 Normal: Incluye todos los alimentos.

Para los alimentos líquidos, la NDD, también ofrece una categorización, la cual se refiere a la viscosidad que deben presentar, tales categorías se presentan en la

*Tabla 2*, donde se relaciona el término propuesto y la viscosidad que debe presentar.

Tabla 2 Valores de viscosidad para las categorías propuestas por la NND, (*American Dietetic Association , 2002*)

<b>Estándares de NDD</b>	<b>Viscosidad (Pa*s)</b>	<b>Grado de Disfagia</b>
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

Durante la deglución los esfuerzos de cizalla pueden oscilar entre 1 y 1000 1/s, dependiendo de la fase de la deglución (*Tabla 3*), siendo mayor para la fase faríngea que para la fase esofágica.

Tabla 3 Esfuerzos de cizalla estimados en la deglución. Tomado de: (*Brito, et al., 2012*)

<b>Fase de la deglución</b>	<b>Velocidad cinemática del bolo líquido, V(cm/s)</b>	<b>Esfuerzo de cizalla estimado <math>\gamma</math> (1/s)</b>
<b>Faríngea</b>		
Cabeza del bolo (máximo)	35.5	931.7
Cola de bolo (promedio)	10	262
<b>Esofágica</b>		
Tiempo de Transición del bolo (6.12 s)	294	4.7

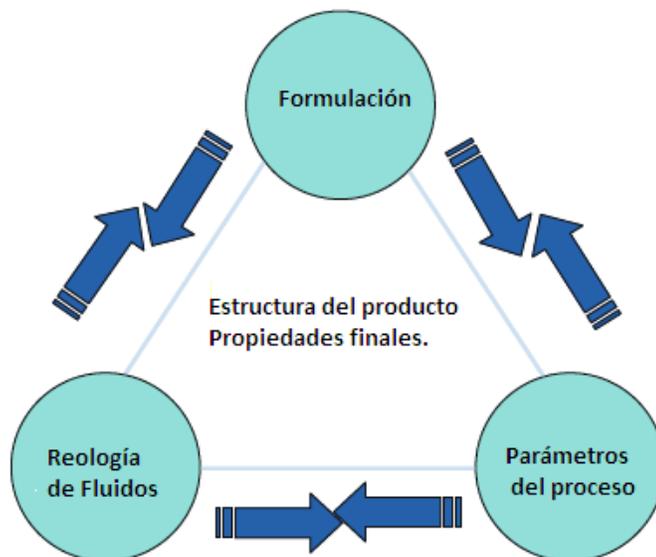
Por esta razón es importante la consideración de un intervalo más amplio en la medida de los esfuerzos de cizalla, donde se pueda verificar la estabilidad del alimento espesado a través de todos los esfuerzos a los que el alimento es sometido durante todas las fases de deglución. Además otra razón importante para tomar esta consideración, es que la viscosidad de los fluidos puede depender del esfuerzo al que es sometido.

Uno de los mayores retos que enfrenta el manejo dietético de la disfagia es la consistencia del producto o, más generalmente, las propiedades reológicas. El diseño de productos que emparejen las propiedades reológicas de los fluidos de diagnóstico (como las suspensiones de bario usados en VFC) con las del bolo.

Brito-de la Fuente, et al., (2012) proponen la tríada dinámica (*Figura 3*), que de acuerdo a esta estrategia, 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.

Sin embargo el uso de estos agentes espesantes pueden alterar las características sensoriales de los alimentos, y esto se podría ver reflejado en la aceptación del alimento modificado (Matta, et al., 2006). Por lo tanto la viscosidad óptima es muy importante; en los líquidos delgados existe el riesgo de aspiración, mientras que en los líquidos demasiados espesos, frecuentemente, son rechazados (Zargaraan , et al., 2013).



**Figura 3 Tríada dinámica para el tratamiento de disfagia Tomado:** (Brito-de la Fuente, et al., 2012)

Pese a ello, como ya se mencionó, no hay evidencia científica para la elección de los parámetros de medición (25°C, 50 1/s). Asimismo, solo se consideran las propiedades viscosas, mientras que las propiedades elásticas son despreciadas.

Es evidente que el flujo elongacional, o extensional, también está implicado en la deformación del bolo alimenticio, como se puede observar en la VFC y en las imágenes de resonancia magnética en tiempo real. La forma del bolo deformado es típica de la producida bajo estiramiento elongacional. Esto está en concordancia con el hecho de que muchos bolos exhiben propiedades extensionales. Desafortunadamente, poca atención

se le ha puesto al rol del flujo extensional para la evaluación de desórdenes de deglución, lo que conlleva a muchas limitaciones (Gallegos, et al., 2012).

Además de todos los argumentos antes presentados es importante implementar una forma universal, reproducible y sistemática para el manejo de la disfagia, y dejar de lado las preparaciones empíricas. La reología puede ser una herramienta para lograr esto.

## **1.2 Reología**

Este campo está dominado por la investigación sobre el comportamiento de flujo de materiales complejos (polímeros, alimentos, sistemas biológicos, pastas, suspensiones, emulsiones y otros compuestos), donde se estudia las 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). Dado que el movimiento de cada una de las partículas que forman un cuerpo está sometido a las leyes de la mecánica, la reología se basa en dicha rama de la física (Jozami, 2016).

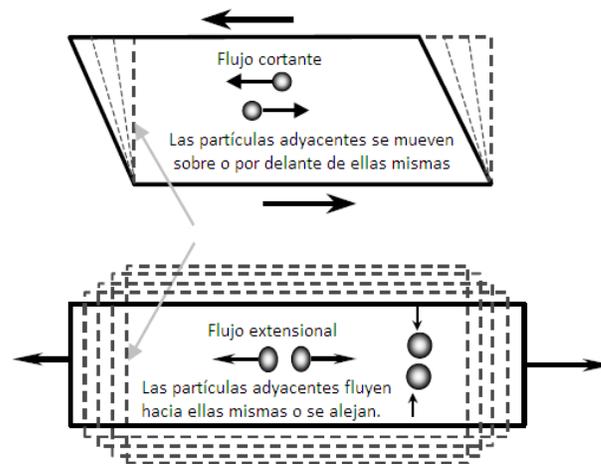
Las variables que se analizan son: esfuerzo ( $\sigma$ ), deformación producida ( $\gamma$ ), velocidad de deformación ( $\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma}$ ) y tiempo (t). Dependiendo como sea la relación de éstas, los fluidos presentan diversos comportamientos (Maestro, 2002).

### **1.2.1 Esfuerzo, flujo y viscosidad**

Para estudiar los fluidos es importante precisar qué es un fluido, el cual se define como un material que se deforma continuamente cuando se somete a esfuerzos de corte (Irgens, 2014).

El esfuerzo se define como la fuerza externa aplicada por unidad de área y, por tanto, tienen unidades de presión. En general, sobre un elemento cualquiera, pueden actuar dos tipos de esfuerzos: los esfuerzos normales, que se refieren a la componente perpendicular a la superficie considerada, y los esfuerzos de cizalla o cortantes, que son las componentes tangenciales a dichas superficies (Jozami, 2016).

El flujo es la deformación de los elementos del líquido y los puntos adyacentes, en el líquido, se mueven uno con relación al otro (Barnes, 2000). 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 4).

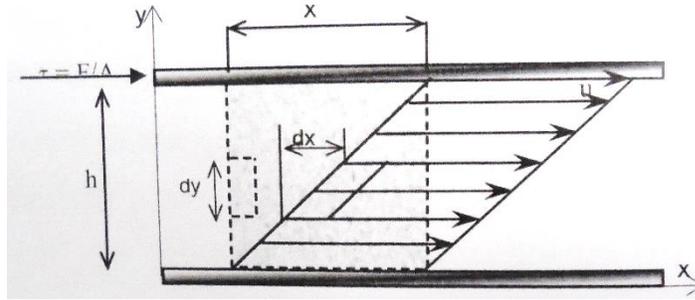


**Figura 4** Movimiento de las partículas en un flujo cortante y extensional. Tomado de: (Barnes, 2000)

Cuando hay flujo cortante, o cizalla simple, la aplicación de la fuerza provoca una respuesta en el material en forma de una deformación, que viene dada como:

$$\gamma = \frac{dx}{dy}$$

Donde dx es el desplazamiento de la superficie superior, en la dirección x, y dy la altura del elemento (Figura 5). Dicha deformación al ser un cociente de longitudes no tiene unidades.



**Figura 5 cizalla simple entre dos placas paralelas. Tomado de: (Jozami, 2016)**

De esta manera, la velocidad de deformación o velocidad de cizalla simple  $\dot{\gamma}$ , definida como la variación de la deformación con respecto al tiempo.

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$$

La velocidad de deformación tiene unidades de  $[s^{-1}]$

La viscosidad,  $\mu$ , se define como la relación entre el esfuerzo de cizalla y la velocidad de deformación

$$\tau = \mu * \dot{\gamma}$$

Las unidades de viscosidad en el sistema internacional son kilogramo sobre metro por segundo  $\left[\frac{kg}{m \cdot s}\right]$ , aunque las más utilizadas son los pascales por segundo  $[Pa \cdot s]$  o milipascales por segundo  $[mPa \cdot s]$ . Además, el sistema cegesimal aún se sigue usando, siendo la unidad de medida, el centiPoise  $[cP]$ , donde:

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

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

Este parámetro es una propiedad del material, y es independiente del esfuerzo, siendo solo función de la temperatura, presión y la naturaleza del material. Este comportamiento lo presentan la mayoría de los fluidos con estructura sencilla y compuestos por moléculas relativamente simples en una sola fase (Jozami, 2016).

Pero para los fluidos no newtonianos, la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla no es constante, sino que depende de estos. Como consecuencia no se puede

definir con la ecuación anterior. Por lo cual se define una viscosidad aparente para estos fluidos,  $\eta$ , como la relación existente entre el esfuerzo y la velocidad de deformación, para cada velocidad de cizalla.

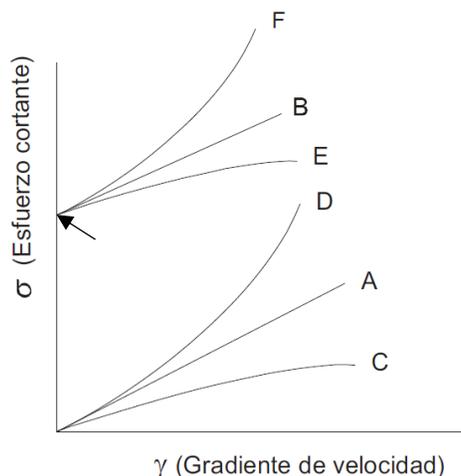
$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Existe una gran variedad de los fluidos no newtonianos, los cuales se pueden clasificar en función de la viscosidad con la velocidad de deformación y el tiempo de cizalla (Jozami, 2016).

### 1.2.2 Fluidos No Newtonianos (reofluidizante y reoespesante)

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 principales tipos de comportamiento del flujo de los fluidos se pueden describir por medio de un diagrama de velocidad de deformación contra esfuerzo de cizalla, como se muestra en la *Figura 6*, en donde las reogramas B, E y F muestran un valor mínimo de esfuerzo de cizalla (señalado con flecha).



**Figura 6 Reogramas para diferentes comportamientos reológicos. Tomado de: (Maestro, 2002)**  
A Newtoniano, B Bingham, C Reofluidizante, D Reoespesante, E y F plástico general

Los fluidos más comunes son el reofluidizante, el reoespesante y el plástico (Jozami, 2016).

#### Reoespesante

Los fluidos reoespesantes, o dilatantes, son poco frecuentes. Consiste en el aumento de la viscosidad aparente al incrementar la velocidad de cizalla. Dicho comportamiento lo pueden presentar algunas suspensiones concentradas de sólidos, proteínas y ciertas disoluciones de polímeros y detergentes.

#### Reofluidizante

También conocido como pseudoplástico, suele ser el más frecuente. Este tipo de fluido disminuye su viscosidad aparente cuando la velocidad de deformación aumenta. Dicho comportamiento lo exhiben las grasas lubricantes, las disoluciones de polímeros, las emulsiones y las suspensiones, etcétera.

Los fluidos reofluidizantes muestran una viscosidad newtoniana a bajas velocidades de cizalla, denominada viscosidad límite a velocidad de cizalla cero,  $\eta_0$ , seguida de una región no newtoniana que se caracteriza por un descenso potencial de la viscosidad aparente, al final se alcanza una viscosidad límite a altas velocidades de cizalla,  $\eta_\infty$ .

El origen de este fenómeno se debe a cambios en la estructura compleja de estos materiales, como consecuencia de la variación en la velocidad de deformación. Estas estructuras suelen estar desorganizadas dentro del seno del fluido, esto le proporciona gran resistencia al flujo. Al aplicarle un gradiente de velocidad de cizalla creciente, se genera una deformación y reorientación de las estructuras en dirección del esfuerzo aplicado, lo que provoca descenso de la resistencia al flujo, y por tanto, de la viscosidad aparente. Al final la estructura está totalmente destruida y/o reorientada con respecto a su estado inicial, lo que origina un valor constante de viscosidad (Jozami, 2016).

#### 1.2.3 Modelos reológicos

Debido a que los fluidos no newtonianos no tienen una viscosidad real, y ésta depende de la velocidad de deformación, se requiere de modelos matemáticos que se ajusten al comportamiento observado a diversas velocidades. Las ecuaciones suelen relacionar el

gradiente de velocidad y la viscosidad, viscosidad y esfuerzo, o bien velocidad de cizalla y esfuerzo de cizalla.

Modelo Ostwald-Waele (ley de potencia)

El modelo de ley de potencia es una representación matemática que describe los datos de los fluidos reofluidizantes y reoespesantes según las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \text{ o } \eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

Donde K es el coeficiente o índice de consistencia, sus unidades son  $[\text{Pa}\cdot\text{s}^n]$  y n es el índice de comportamiento de flujo, es adimensional y refleja la cercanía al fluido newtoniano. Para el caso del fluido newtoniano ( $n=1$ ), el índice de consistencia es idénticamente igual a la viscosidad del fluido. Cuando la magnitud de  $n < 1$  el fluido es reofluidizante y cuando  $n > 1$  el fluido es reoespesante.

Laley de potencia se trata de un modelo empírico. Debido a que contiene sólo dos parámetros (K y n) que pueden describir los datos de velocidad de deformación y esfuerzo, este modelo se ha utilizado ampliamente para caracterizar alimentos líquidos. Un inconveniente del modelo de ley de la potencia es que no describe los datos de viscosidad constante de baja y alta velocidad de cizalla de los alimentos reofluidizantes, (Jozami, 2016).

#### 1.2.4 Fluidos viscoelásticos

Cuando un cuerpo es sometido a una fuerza externa, se pueden distinguir idealmente dos comportamientos extremos: el comportamiento elástico y el comportamiento viscoso.

El comportamiento elástico es propio de los sólidos puros, en los cuales la energía de deformación se recupera totalmente cuando desaparece la fuerza, recuperándose la forma original. En cambio el comportamiento viscoso, es típico de los fluidos puros, los cuales se deforman de modo no reversible, ya que la energía de deformación se disipa en forma de calor y no se recupera la forma original al desaparecer la fuerza.

En la práctica, la mayoría de los materiales tienen comportamiento intermedio entre estos dos extremos, de manera que disipan parte de la energía de deformación al fluir, mientras que almacenan otra parte, que se utiliza en recuperar parcialmente la forma original al

desaparecer la fuerza externa. Estos materiales reciben el nombre de viscoelásticos (Maestro, 2002).

La forma más usual de determinar el comportamiento viscoelástico es mediante el uso del módulo de almacenamiento,  $G'$  «storage modulus», y del módulo de pérdida,  $G''$  «loss modulus». El módulo de almacenamiento está relacionado con el comportamiento elástico del material, de manera que en un sólido ideal 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.

### Ensayos dinámicos oscilatorios

Los ensayos oscilatorios consisten en someter el material a una deformación periódica, que generalmente se trata de una cizalla simple sinusoidal, la deformación o el esfuerzo aplicado debe de ser de una amplitud pequeña para mantenerse en el intervalo de respuestas lineales.

El movimiento oscilatorio se genera en reómetros rotatorios convencionales, operando bajo el principio de velocidad o de esfuerzo controlados, haciendo que el rotor no gire continuamente en una sola dirección sino que se desplace un pequeño ángulo alternativamente en el sentido de las agujas del reloj y en el contrario, siguiendo una función sinusoidal del tiempo (Jozami, 2016).

### 1.2.5 Reología extensional

Aunque la mayoría de los estudios viscométricos y reológicos se llevan a cabo en flujos de cizallamiento simples así como viscosímetros rotacionales, los flujos reales experimentados por los líquidos son muy a menudo de extensión (elongación o alargamiento), y para algunos líquidos puede haber una diferencia muy grande entre su cizalladura y viscosidades extensionales (Barnes, 2000).

Existen tres tipos de flujo extensional:

*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.

Mientras que en el flujo cortante se tiene un esfuerzo y velocidad de deformación en el flujo extensional uniaxial se tiene esfuerzo extensional  $\sigma_e$ , y velocidad de deformación extensional  $\dot{\epsilon}$ . Con la relación del esfuerzo y velocidad se obtiene la viscosidad extensional uniaxial (o elongacional).

$$\eta_e = \frac{\sigma_e}{\dot{\epsilon}}$$

Donde  $\eta_e$  es la viscosidad extensional,  $\sigma_e = \frac{F}{A}$  y  $\dot{\epsilon} = \frac{V}{L}$

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.

### **1.3 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 evaluación sensorial surge como disciplina para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. Además, la evaluación sensorial no solamente se tiene en cuenta para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios existentes, sino también para realizar investigaciones en la elaboración e innovación de nuevos productos, en el aseguramiento de la calidad y para su promoción y venta (marketing) (Hernández, 2005).

### 1.3.1 Atributos

Los atributos de un alimento se suelen percibir en el siguiente orden (Meilgaard, et al., 2000):

- Apariencia
- Olor / aroma / fragancia
- Consistencia y textura
- Sabor (aromas, gusto)

*Atributos de apariencia.* Se detecta a través de la vista, la estimación de estos atributos hace que los otros órganos sensoriales se preparen para sus propias percepciones, haciendo más intensa la respuesta. Estos atributos son: color, tamaño y forma, textura superficial, brillo y carbonatación (en bebidas con esta característica).

*Atributos olor / aroma / fragancia.* Los atributos de olor se detectan cuando sustancias volátiles entran en el paso nasal y son percibidos por el sistema olfativo. Se trata de olor cuando los volátiles son olfateados por la nariz (voluntariamente o de otra manera).

*Atributos de consistencia y textura.* El tercer conjunto de atributos a considerar son los que perciben los sensores en la boca, aparte del gusto y las sensaciones químicas. Por convención se refiere a:

- Viscosidad (líquidos newtonianos)
- Consistencia (para líquidos no newtonianos, heterogéneos y semisólidos)
- Textura (sólidos y semisólidos)

Se pueden conocer las características mecánicas, geométricas y de composición de muchos materiales, incluidos los alimentos.

*Atributos de sabor.* El sabor, como atributo de los alimentos, las bebidas y los condimentos, ha sido definido como la suma de las percepciones resultantes de la estimulación de las terminales sensoriales que se agrupan en la entrada del tracto alimenticio y tracto respiratorio. También se puede definir como las impresiones

percibidas a través de las sensaciones químicas de un producto en la boca. Definido de esta manera, el sabor incluye:

Los aromáticos, es decir, las percepciones olfativas causadas por las sustancias volátiles liberadas de un producto en la boca a través de las fosas posteriores.

Los gustos, es decir, las percepciones gustativas (saladas, dulces, amargas, ácido) causadas por sustancias solubles en la boca.

Los factores de sensación química, que estimulan los extremos nerviosos en las membranas blandas de las cavidades bucal y nasal (astringencia, sabor metálico, sabor umami, etc.).

*Sonido.* El sonido producido durante la masticación de los alimentos o el manejo de los tejidos es un atributo sensorial menor pero no despreciable. Es común medir el tono, el volumen y la persistencia de los sonidos producidos por los alimentos. El tono y la sonoridad del sonido contribuyen a la impresión sensorial general. Las diferencias en el tono de algunos alimentos ruptura (crujiente, tostado, frágil) proporcionan la entrada sensorial, que utilizamos en la evaluación de la frescura/suavidad (Meilgaard, et al., 2000).

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.

### 1.3.2 Análisis descriptivo

El análisis descriptivo es el más sofisticado de los métodos disponibles para los profesionales en sensorial. Una prueba descriptiva proporciona palabras descriptivas de los productos, una base para comparar similitudes y diferencias de productos, y una base para determinar los atributos sensoriales que afectan las preferencias. Los resultados permiten relacionar variables específicas de ingrediente o proceso con cambios

específicos en algunos (o todos) de los atributos sensoriales de un producto (es decir, establecer la causalidad) (Stone, et al., 2012).

El análisis descriptivo se puede definir como (Stone, et al., 2012):

Una metodología sensorial que proporciona descripciones cuantitativas de los productos, obtenidas de las percepciones de un grupo de sujetos calificados. Es una descripción sensorial completa, teniendo en cuenta todas las sensaciones que se perciben visuales, auditivas, olfativas, kinestésicas, etc., cuando se evalúa el producto. 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.

Algunos ejemplos de este tipo de pruebas se mencionan a continuación:

- Perfil de sabor
- Perfil de textura
- Análisis Descriptivo Cuantitativo (Quantitative Descriptive Analysis, QDA)
- Análisis Descriptivo Spectrum
- Perfil de libre elección
- Análisis de componentes principales (Principal Component Analysis, PCA)
- Análisis del perfil de atributos
- Perfil Flash

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., 2014) 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.

### 1.3.3 Perfil Flash

El Perfil Flash (PF) fue propuesto por Dairou y Sieffermann (2002), es un método sensorial descriptivo, que se deriva del Perfil de libre elección donde cada sujeto elige y usa sus propias palabras para evaluar el conjunto completo de productos comparativamente. 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.

En este método, en la primera sesión los evaluadores reciben un conjunto completo de productos y se les pide que generen individualmente descriptores sensoriales que distinguan a los productos. En este proceso los evaluadores son instruidos para evitar términos hedónicos. Una vez que se tienen todos los descriptores se realiza una sesión grupal para hacer una lista de atributos y se les pide a los jueces actualizar sus propias listas individuales si lo quieren. En la siguiente sesión se le da al panelista la totalidad de atributos definidos. En sesiones posteriores se repite el proceso de clasificación de los atributos. Es preferible hacer al menos tres repeticiones (Dairou & Sieffermann, 2002; Severiano, et al., 2014).

Las ventajas de esta técnica son que consume menos tiempo y es más rentable cuando se compara con otros métodos de análisis descriptivos disponibles, pues algunos requieren un entrenamiento extensivo y son costosos de preparar. El PF también se puede utilizar en la etapa inicial de un proyecto para crear los atributos sensoriales para el análisis descriptivo convencional (Society of Sensory Professionals, 2017).

Debido a que cada sujeto utiliza sus propios términos descriptivos para evaluar los productos, los mapas sensoriales individuales se tratan con Análisis de Procustes

Generalizado para crear una configuración de consenso. El análisis de clúster también se puede realizar después del GPA en los términos descriptivos para ayudar en la interpretación (Dairou & Sieffermann, 2002).

#### 1.3.4 Pruebas Afectivas

El propósito principal de las pruebas afectivas es evaluar la respuesta personal (preferencia y/o aceptación) por los clientes actuales o potenciales de un producto, una idea de producto o de características específicas del producto. Han demostrado ser altamente eficaces como una herramienta principal en el diseño de productos o servicios que se venderán en mayor cantidad y/o atraer un precio más alto (Meilgaard, et al., 2000).

Existen dos tipos principales de pruebas afectivas (Meilgaard, et al., 2000):

*Pruebas Afectivas Cualitativas.* Son aquellas (por ejemplo, entrevistas y grupos de enfoque) que miden las respuestas subjetivas de una muestra de consumidores a las propiedades sensoriales de los productos al hacer que los consumidores hablen de sus sentimientos en una entrevista o en un grupo pequeño.

*Pruebas Afectivas Cuantitativas.* Son las que determinan las respuestas de un gran grupo (50 a varios cientos) de consumidores a un conjunto de preguntas sobre preferencia, gustos, atributos sensoriales, etc. Determina la preferencia o el gusto general por un producto o productos por una muestra de consumidores que representan a la población a la que se destina el producto. También se determina la preferencia o el gusto por los aspectos generales de las propiedades sensoriales del producto (aroma, sabor, aspecto, textura).

#### 1.3.5 Prueba de Preferencia

Las pruebas de preferencia les permiten a los consumidores seleccionar entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra sobre otra o si no tienen preferencia. La prueba de preferencia más sencilla es la prueba de preferencia pareada; las pruebas de ordenamiento y de categorías también se utilizan frecuentemente para determinar preferencia (Watts, et al., 1995).

De este tipo de prueba existen diversos tipos, como se muestra en la *Tabla 4*.

Tabla 4 Tipos de pruebas de preferencia.

Tipo de prueba	Número de muestras	Preferencia
Preferencia pareada	2	Se elige un muestra sobre la otra (A o B)
Preferencia múltiple pareada	3 o más	<p>Todos los pares. Se presentan todas las posibles parejas dentro de las muestras</p> <p>Parejas seleccionadas. Muestras emparejadas con una o dos muestras seleccionadas (por ejemplo, control)</p>
Preferencia no forzada	2	Es igual que la prueba pareada, solo que se incluye la opción “Sin preferencia”
Preferencia por ordenamiento	3 o más	Se ordenan las muestras por preferencia relativa, no se permiten empates

*Preferencia por ordenamiento.* En estas pruebas, se pide a los consumidores que clasifiquen varios productos en orden descendente o ascendente de preferencia o de gusto. Los participantes no suelen tener empates, por lo que el método es generalmente una elección forzada. Se debe tener en cuenta que las clasificaciones no dan una estimación directa del tamaño de cualquier diferencia de preferencia. El nivel de preferencias es intuitivamente simple para el consumidor, puede hacerse rápidamente y con un esfuerzo relativamente pequeño (Lawless & Heymann, 2003).

Una desventaja de la clasificación de preferencias es que los datos de diferentes conjuntos de productos superpuestos no pueden compararse ya que las clasificaciones se basan en este marco de referencia interno. Las clasificaciones de preferencias visuales y táctiles son relativamente simples, pero las comparaciones múltiples que intervienen en la clasificación de las muestras por olor o sabor pueden ser muy fatigantes (Lawless & Heymann, 2003).

### 1.3.6 Nivel de agrado o escala hedónica

La escala hedónica más común es la que tiene 9 puntos (ver *Tabla 5*), fue creada por Peryam y Pilgrim (1952). La escala hedónica asume que las preferencias de los consumidores existen en un continuo y que la preferencia puede ser categorizada por

respuestas basadas en el gusto y disgusto (Lawless & Heymann, 2003). En esta prueba se califican individualmente las muestras.

Tabla 5 Escala hedónica de 9 puntos

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

Aunque la escala tiene 9 puntos 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.

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.

#### 1.4 Almidón

El almidón es un polisacárido de reserva energética encontrado en tejidos vegetales tales como: el endospermo de semillas, granos de cereales, tubérculos y algunas frutas, el cual ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria. Además, después de la celulosa es el polisacárido más abundante e importante desde un punto de vista comercial (Badui, 2013).

Desde un punto de vista químico, el almidón es un mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina; el primero es el resultado de la condensación de glucosas por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4), las cuales generan cadenas largas lineales (200-2500 unidades y peso molecular de hasta un millón). La segunda se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones, las cuales se unen mediante enlaces  $\alpha$  (1-6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa.

Aunque la amilosa es un componente minoritario en la mayoría de los gránulos de almidón, entre 20-30% dependiendo de la fuente de almidón (aunque existen variaciones céreas que contienen cerca del 1%, y amiláceas 50-80%), tiene gran influencia en las propiedades del almidón. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente por su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2013).

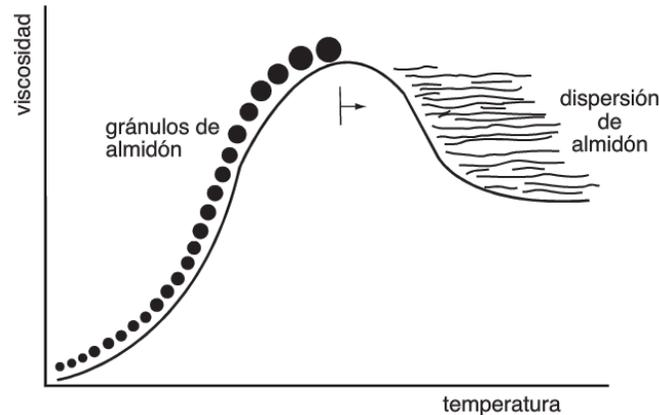
El gránulo de almidón y su tamaño son determinantes en su capacidad de procesamiento, lo cual afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento granular (que facilita la liberación de cadenas poliméricas solubles para formación de una única fase amorfa coherente).

#### 1.4.1 Gelatinización del almidón

Debido a que la estructura de los gránulos de almidón es muy organizada, además de que presenta una gran estabilidad por las interacciones que existen entre los dos polisacáridos que lo componen, son insolubles en agua. Sin embargo cuando se calienta, se comienza a absorber el líquido en las zonas intermicelares amorfas de la amilopectina que son las menos organizadas, y es más fácil de que el agua penetre. A diferencia de la amilopectina, la zona cristalina tiene una gran cantidad de puentes de hidrógenos que mantiene compacto la amilosa (Badui, 2013). Al comenzar este fenómeno el gránulo comienza a hincharse, y como consecuencia aumenta de volumen.

Cuando la parte amorfa está completamente hidratada, la zona cristalina comienza a pasar por un proceso semejante, pero para ello necesita más energía. Estas temperaturas son características de cada tipo de almidón, pero generalmente varían entre 55-70°C. Es a esta temperatura cuando el gránulo alcanza su volumen máximo, si se sigue administrando energía el gránulo se rompe parcialmente, la amilosa y la amilopectina (fuertemente hidratadas) se dispersan en la solución.

A este proceso se le llama gelatinización, paso del estado ordenado insoluble a un estado desordenado, que absorbe agua y calor. La viscosidad llega a un máximo, cuando el gránulo alcanza su máximo volumen, y decae, al romperse (*Figura 7*). 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.



**Figura 7 Cambio de la viscosidad en función de la temperatura durante la gelatinización del almidón.**  
**Tomado de:** (Badui, 2013)

#### 1.4.2 Almidones modificados

Los almidones modificados son almidones cuya estructura química o física se ha modificado con el fin de proporcionarles propiedades funcionales que no poseen. Son ampliamente usados en la industria dado que actúan como espesantes, estabilizadores, humectantes, aglomerantes, antihumectantes, acarreadores en el secado de pigmentos, etc.; además se diseñan para que funcionen en diferentes condiciones de pH, de sales y con distintos componentes de los alimentos.

Los almidones más comúnmente modificados para uso comercial son los procedentes del maíz normal, tapioca, papas y maíz céreo.

En la actualidad, los medios de modificación practicados en el almidón son:

- I. Modificación química.
  1. Derivatización
    - Eterificación y esterificación
    - Entrecruzamiento
  2. Hidrólisis con ácido / despolimerización hidrolítica
  3. Dextrinización
  4. Oxidación
  5. Hidrólisis
- II. Genética
  1. Almidón ceroso

2. Almidón alto en amilosa
- III. Modificación física
1. No térmicos
  2. Térmicos (para producir almidón pregelatinizado)

La modificación física ha cobrado gran interés en la producción de almidones pregelatinizados o instantáneos, la preparación de productos nutracéuticos y otros más.

#### 1.4.3 Almidón pregelatinizado (APG)

Existe conflicto en la nomenclatura con respecto a los almidones instantáneos o pregeles. El más común es el que se denomina almidón pregelatinizado. El APG se puede producir por diversos métodos, en los que se implica un pre-cocinado del almidón y posteriormente se seca. La principal materia prima para producir el APG es el almidón proveniente del maíz

*Secado por tambor.* Son producidos comercialmente calentando la superficie de una suspensión de almidón-agua, con el fin de destruir los gránulos de almidón hidratados y producir almidón cocido (Haghighy & Schoenlechner, 2011). El proceso de secado en tambor permite que el producto obtenga diversas texturas y estructuras porosas, que finalmente, afectan sus propiedades funcionales. Permite al producto formar un tipo de suspensión moderada estable que se dispersa en agua fría. El comportamiento reológico del almidón pregelatinizado tratado con secador de doble tambor tiende a formar una pasta débil cuando se realiza la reconstitución con agua.

*Cocido por extrusión.* En la cocción por extrusión, la presión, generada detrás del troquel de descarga, fuerza al material a través de la abertura; en la salida del troquel, el producto se expande debido a la caída de presión. Las temperaturas alcanzadas por los alimentos durante la cocción por extrusión pueden ser altas (~200°C), aunque el tiempo de residencia en la extrusora es normalmente muy corto (30-45 s), por lo que el proceso de extrusión se denomina a menudo de “*alta temperatura corto tiempo*” (High-temperature short-time, HTST). La mayor solubilidad obtenida se explica por la implicación de fuerzas de cizallamiento que dispersan completamente los componentes del almidón, interrumpiendo los enredos moleculares.

En la *Tabla 6*, se muestra algunas diferencias entre los procesos de secado en tambor y cocido por extrusión, para la producción de APG.

Tabla 6 Comparación del secado en tambor y cocido por extrusión. Tomado de: (Haghighy & Schoenlechner, 2011)

<b>Secado por tambor</b>	<b>Cocido por extrusión</b>
Reducción de la degradación (baja solubilidad en agua)	Pronunciada degradación (alta solubilidad en agua)
Alto poder de hinchamiento (10-20g de agua/ g de sedimento seco)	Bajo poder de hinchamiento (3-10 g de agua/ g de sedimento)
Fracción soluble enriquecida con amilosa	Fracción soluble, mantiene la proporción amilosa/amilopectina como en el almidón nativo

*Secado por aspersión.* Las suspensiones de almidón (15-50% m/v) se atomizan a través de una abertura de atomización dentro de una boquilla de cámara. El vapor se inyecta en el almidón atomizado a través de una segunda abertura en la cámara para mantener la temperatura de la boquilla de la cámara a ~ 150°C. El tiempo que tarda la suspensión de almidón para desplazarse desde la abertura de atomización a través de la cámara para salir de la boquilla de la cámara define el tiempo de cocción del almidón. El proceso produce un almidón uniformemente cocinado o gelatinizado con un mínimo de daños por cizallas y calor. Posteriormente, el almidón gelatinizado se atomiza finamente y se seca en una torre de secado por aspersión. El proceso da como resultado un almidón precocido granular al 100%.

Los almidones modificados químicamente y sin modificar, pueden ser utilizados para producir APG, por lo que si se utilizan almidones modificados, las propiedades introducidas por la(s) modificación(es) también se exhiben por los productos pregelatinizados. Por lo tanto, las propiedades, tales como la estabilidad a los ciclos de ácido, cizallamiento y congelación-descongelación, también pueden ser características de almidones pregelatinizados (BeMiller & Huber, 2015).

#### 1.4.4 Aplicaciones del almidón pregelatinizado

Debido a que el APG se precocina, éste se hidrata rápidamente y puede utilizarse sin cocción, aunque, si se calienta una dispersión de APG, a menudo produce una viscosidad adicional. Los productos de APG se utilizan cuando: (a) no hay calor disponible, (b) ninguna etapa requiere tanto calor para cocinar el almidón, o (c) el calor no puede ser aplicado debido al riesgo térmico de uno o más de los otros ingredientes.

Son especialmente útiles en productos de mezcla seca diseñados para su uso en el hogar. Las mezclas para pasteles húmedos aprovechan su alta capacidad de retención de agua. Debido a que los almidones pregelatinizados no desarrollan la misma firmeza de gel que los almidones nativos, producen pudines y rellenos de crema más suaves. Los productos de APG contribuyen al manejo de la textura y la humedad de los bocadillos, y al control de la viscosidad y humedad en los glaseados y coberturas. También tiene aplicaciones en sistemas de humedad limitada, tales como galletas blandas, rellenos de panadería, bocadillos extruidos, aderezos para ensaladas bajos en grasa y rellenos de alto contenido en sólidos.

Algunos productos de APG (los de un tamaño de malla más grande) están diseñados para producir algo de granulosis o pulpa, deseada en algunas aplicaciones, cuando se dispersa en agua. Muchos productos producen pastas suaves cuando se dispersan en agua o leche. Se dispersan fácilmente con agitación de alto cizallamiento o cuando se mezclan con azúcar u otros ingredientes secos.

Los problemas pueden ocurrir en procesos fríos si la harina, fruta, especias u otros ingredientes contienen amilasas. En un proceso caliente, la inactivación térmica de las enzimas suele preceder a la hinchazón del almidón y su resultante vulnerabilidad a las enzimas (Mason, 2009).

Los almidones instantáneos deben mezclarse primero con otros ingredientes secos antes de la adición a la fase acuosa, para ralentizar la hidratación y minimizar el pegado. Para formulaciones con poco azúcar u otros ingredientes secos, los almidones se aglomeran para facilitar la dispersión. Una ligera capa de aceite ayudará a la dispersión (Mason, 2009).

# Capítulo 2: Materiales y Metodología

## 2.1 Materiales

El almidón pregelatinizado empleado para espesar las bebidas fue de grado alimenticio, el cual cumplía con estricto control de calidad. Se utilizó un solo lote (3XE014) para evitar variaciones dentro de la materia prima.

La preparación del producto espesado se describe en el Anexo 1.

Las matrices empleadas fueron una bebida hidratante (Powerade® Ion 4), una bebida de manzana (Ami Jumex®), leche saborizada (Yomi LALA® Vainilla), una leche light (LALA Light®) y una bebida de soya (Ades® Natural).

La composición de las bebidas que fueron espesadas se presenta de acuerdo a la etiqueta de cada producto.

Tabla 7 Composición de las matrices base acuosa por 100 mL

	Bebida hidratante	Bebida de manzana
Proteína	0	0
Lípidos	0	0
Hidratos de carbonos	6	2.5
Sodio (mg)	24	15
Energía (kcal)	24	10

Tabla 8 Composición de las matrices base proteína por 100 mL

	Bebida de soya	Leche saborizada	Leche Light
Proteína	3.1	2.64	3.12
Lípidos	2.25	1.4	1
Hidratos de carbonos	2.4	7.48	4.8
Sodio (mg)	102.5	64	46.4
Energía (kcal)	42.5	53.2	40.8

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. El medio se formula de acuerdo a las consistencias establecidas por la American Dietetic Association (2002), 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 (National Institutes of Health, 2016).

## **2.2 Equipos**

Mezclador, de diseño propio del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET-UNAM), el cual se empleó para la integración del espesante a la bebida.

Reómetro de esfuerzo controlado (Anton Paar Physica MCR101) con una configuración plato-plato (PP) de 50 mm de diámetro y un gap de 0.5 mm.

Reómetro de orificio de bomba de lóbulos de contracción semi-hiperbólica, diseño propio del CCADET-UNAM con reducción de salida 1:8 y 1:4.

Software: XLSTAT, Rheoplus 3.5, GraphPad Prism 6, Fizz® acquisition 2.3

## **2.3 Metodología**

### **2.3.1 Estrategia experimental**

El desarrollo de este proyecto fue el siguiente: se realizó una aproximación en agua con diferentes concentraciones de APG. Posteriormente se determinaron las concentraciones para cada matriz, dependiendo de la consistencia requerida. Los estudios reológicos que se llevaron a cabo para cada bebida modificada fueron: reología de corte, ensayos dinámicos y extensionales.

Una vez caracterizadas las bebidas modificadas, se realizaron tres técnicas de evaluación sensorial: una descriptiva (perfil Flash) y dos afectivas (nivel de agrado y preferencia). En las pruebas afectivas se incluyó una bebida espesada a la que la sociedad mexicana está familiarizada (atole) y contrastar de esta manera, las bebidas

modificadas con una bebida familiar para el consumidor. La preparación se realizó según Soto (2015).

### 2.3.2 Caracterización reológica de corte y dinámica

Tanto la caracterización de corte como la caracterización dinámica se realizaron con el reómetro de esfuerzo controlado Anton Paar Physica MCR101 a 25°C. El equipo se conectó a una computadora y los datos se analizaron con el software Rheoplus 3.5®. 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 se corrió con una rampa considerando el intervalo de velocidad de deformación 0.1-1000 s<sup>-1</sup>, con 21 puntos intermedios. Las mediciones se realizaron por triplicado y las gráficas expuestas en este trabajo corresponden al promedio obtenido, dichas mediciones se hicieron con una configuración plato-plato, y un gap 0.5 mm.

Al obtener los datos de las curvas de flujo, se observó un comportamiento reofluidizante, el cual puede ser tratado por la ley de potencia (ver *Figura 8*), de este tratamiento se obtuvieron los parámetros K y n.

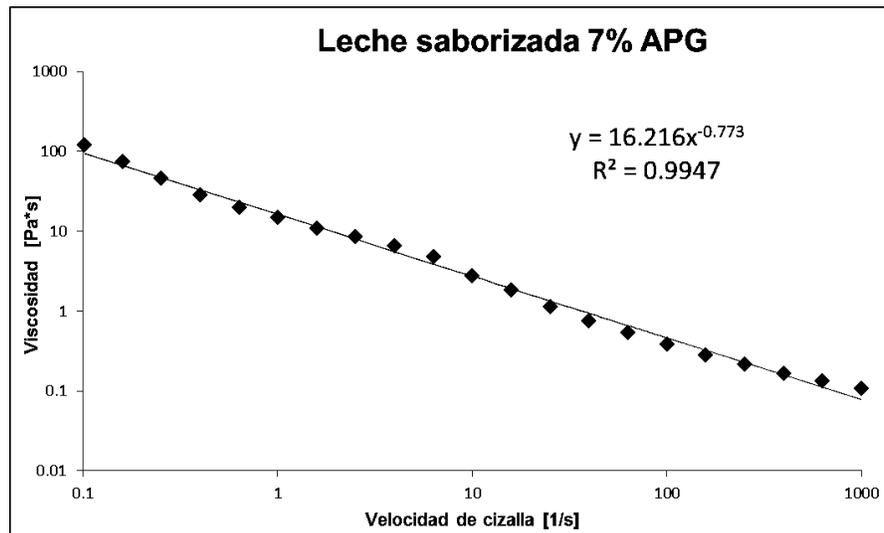


Figura 8 Ley de la potencia, para una curva de flujo

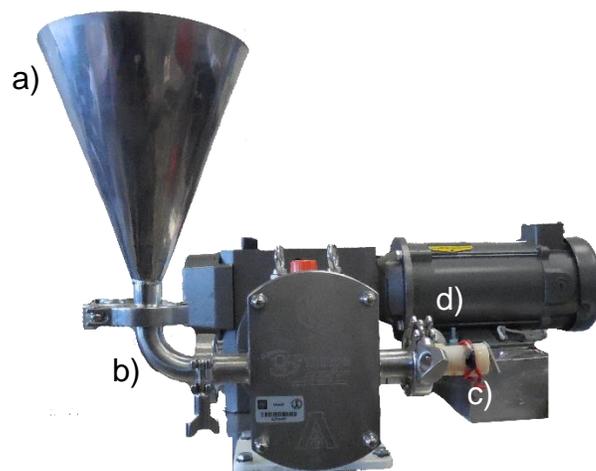
Con la ley de la potencia se pudo obtener K y n, según  $\eta = K\dot{\gamma}^{n-1} = 16.216\dot{\gamma}^{-0.773}$

Con estos parámetros se recalcularon los valores de viscosidad para determinados esfuerzos de cizalla ( $0.1-100 \text{ s}^{-1}$ ), 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 de una vía (Anexo 2).

### 2.3.3 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 (*Figura 9*).

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 (Ascanio, et al., 2015).



**Figura 9** 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. 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:

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

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

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 extensional se conecta a una computadora, y mediante una interfaz programada, en el programa Labview, el operador puede determinar los intervalos de tiempo para cada revolución de la bomba de lóbulos, el registro de temperatura de entrada y salida, y el monitoreo de la caída de presión. Se empleó desde 5 rpm hasta 29 rpm, aumentando 1.5 rpm cada 15 segundos, y se registraron 2 mediciones de presión por segundo.

Al trabajar con dos contracciones diferentes, se pueden generar velocidades de elongación altas y bajas, las cuales se presentan durante la fase faríngea y esofágica, respectivamente. Para generar altas velocidades de elongación se ocupó la contracción 1:8 y para las velocidades bajas, la contracción 1:4.

Tabla 9 Velocidades de elongación derivadas del flujo volumétrico y de la contracción utilizada

<b>Q Flujo volumétrico, (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidades bajas de elongación <math>\dot{\epsilon}</math>, s<sup>-1</sup>, contracción 1:4</b>	<b>Velocidad altas de elongación <math>\dot{\epsilon}</math>, s<sup>-1</sup>, contracción 1:8</b>
4.17E-06	41.8	501.3
5.42E-06	54.3	651.7
6.67E-06	66.9	802.1
7.92E-06	79.4	952.5
9.17E-06	91.9	1102.9
1.04E-05	104.5	1253.3
1.17E-05	117.0	1403.7
1.29E-05	129.5	1554.1
1.42E-05	142.1	1704.5
1.54E-05	154.6	1854.9
1.67E-05	167.2	2005.3
1.79E-05	179.7	2155.7
1.92E-05	192.2	2306.1
2.04E-05	204.8	2456.5
2.17E-05	217.3	2606.9
2.29E-05	229.8	2757.3
2.42E-05	242.4	2907.7

A las gráficas de viscosidad extensional se les aplicó el modelo de ley de potencia. Para las velocidades bajas (fase esofágica) se consideró un barrido de velocidades de elongación de 50 s<sup>-1</sup> hasta 250 s<sup>-1</sup>, mientras que para las velocidades altas (simulando la fase oral y faríngea) se consideró un barrido de 500 s<sup>-1</sup> hasta 3000 s<sup>-1</sup>.

#### *Calibración del equipo*

El reómetro extensional utilizado para llevar a cabo las elongaciones de las bebidas modificadas necesita una calibración previa, la cual determina las ecuaciones con las que se calcula la viscosidad extensional.

Dicha calibración se llevó a cabo con diversos fluidos patrones (un fluido elástico, fluido inelástico, polietilenglicol al 40%, glicerina), a los cuales se les determinó la densidad. La composición del fluido elástico fue 70% glicerina y 30% agua (el agua contiene 2% de

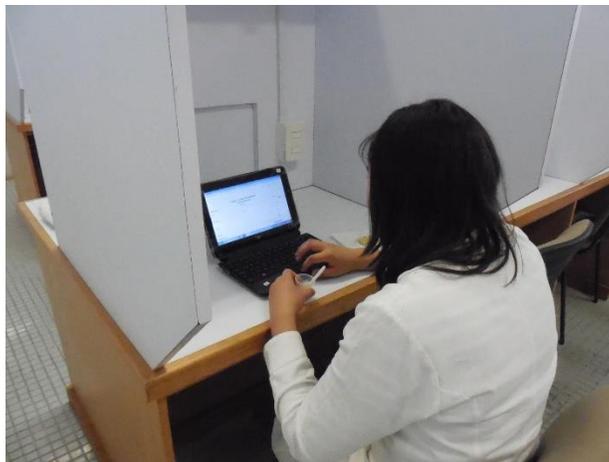
CMC). La composición del fluido inelástico fue de 40% glicerina y 60% agua (el agua contiene 0.5% de CMC).

Los fluidos se hicieron pasar por dos contracciones 1:4 y 1:8 y durante la calibración también se determinó el flujo másico. Los datos de presión obtenidos se procesaron para determinar las ecuaciones.

#### 2.3.4 Perfil Flash

El análisis descriptivo Perfil Flash fue llevado a cabo en dos sesiones con la participación de 14 jueces semi-entrenados, los cuales tienen un entrenamiento sensorial, pero no específico a los productos elaborados.

Durante la primera sesión se generaron atributos relacionados con los productos, para posteriormente compilar los descriptores más relevantes y mencionados con mayor frecuencia. En la segunda sesión se evaluaron las muestras espesadas; en esta evaluación se manejó una escala lineal que abarcó desde un nivel bajo hasta un nivel alto. La captura de datos se realizó con el software Fizz® acquisition 2.3 (Biosystemes, 2007, Couternon, Francia), los atributos evaluados se agruparon en cuatro categorías: apariencia, olor, sabor y textura. La segunda sesión se llevó a cabo en las cabinas de evaluación del laboratorio 4-D de la Facultad de Química (Figura 10).



**Figura 10** Cabina de evaluación sensorial y juez evaluando el Perfil Flash.

Las calificaciones de cada muestra fueron tratadas con el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de procrustes generalizado (GPA). Se realizaron dos

réplicas para cada muestra. De esta forma, se obtuvo un mapa para posicionar a las muestras y términos, permitiendo ver las relaciones entre estos.

El objetivo de este proceso es minimizar las distancias entre los mismos objetos evaluados por diferentes jueces, bajo condiciones de escalamiento, rotación y traslación. Aunque las distancias entre los objetos de un mismo evaluador no deben cambiar. Sin embargo estas modificaciones suelen resultar en dimensiones altas, por lo que el análisis de componentes principales es útil para representar la variabilidad de las muestras en un número bajo de dimensiones (Dijksterhuis, 1996). En general, se busca que el gráfico de sedimentación de los valores propios 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.

El resultado del ACP se resumió en dos gráficos: el diagrama de variables o círculo de correlación, donde se representan 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; el segundo gráfico es el diagrama de muestras, en el que se representan las muestras en el plano factorial (Riaño, 2013). El análisis de los datos fue realizado en el paquete estadístico XLSTAT.

#### 2.3.5 Nivel de agrado

La evaluación de nivel de agrado se llevó a cabo en dos sesiones. En la primera sesión se evaluaron las muestras de base proteína, es decir la leche saborizada, la bebida de soya y la bebida con la que el consumidor está familiarizado, el atole. Dicha sesión se llevó a cabo en las cabinas de evaluación, en el Anexo del Laboratorio de Evaluación Sensorial 4-D de la Facultad de Química.

En la segunda sesión se evaluaron dos bebidas texturizadas con base acuosa: la bebida de manzana y la bebida hidratante. Esta evaluación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. En ambas sesiones evaluaron 103 consumidores no habituales, los cuales calificaron el nivel de agrado de 5 aspectos de las bebidas, apariencia, textura, olor, sabor y apariencia general, en una escala hedónica de 9 puntos.

La captura de datos durante la primera sesión se realizó con el software Fizz® acquisition 2.3 (Biosystemes 2007, Couternan, Francia). En la segunda sesión la captura de datos se hizo por medio de un cuestionario tradicional, con hoja y pluma. En ambos casos se determinó diferencia significativa para cada atributo a través del análisis de varianza de una vía (ANOVA,  $p < 0.05$ ).

### 2.3.6 Prueba de preferencia

La prueba de preferencia se realizó en las instalaciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Dicho test consistió en las cinco bebidas previamente evaluadas en nivel de agrado, y se le pidió al consumidor (103 personas) que las dispusiera en orden de preferencia, siendo 1 el nivel más alto y 5 el nivel más bajo, sin empates. Los datos se capturaron en un cuestionario tradicional. El análisis de datos se hizo con el método de Friedman.



(a)



(b)

**Figura 11 Consumidores no habituales evaluando las bebidas modificadas con APG**  
**(a) Cabinas de evaluación sensorial de la Facultad de Química (b) instalaciones del CCADET**

## 2.4 Análisis estadístico

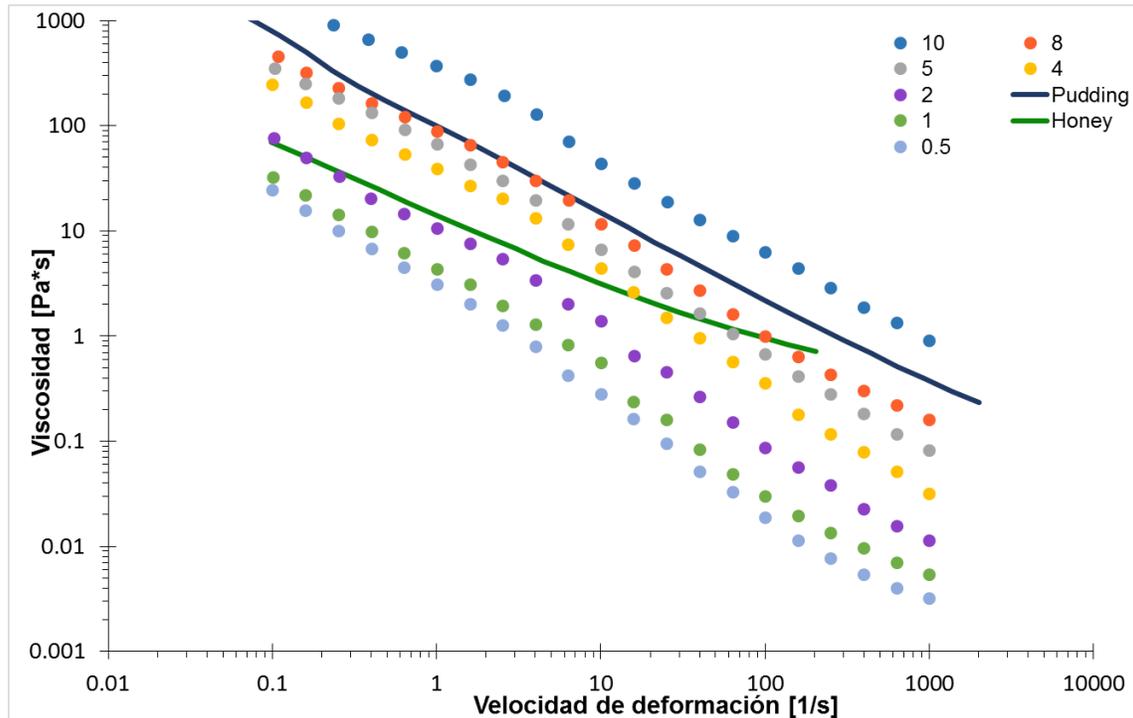
Para el análisis estadístico de los datos de reología de corte y extensional, se realizó un ANOVA (una vía,  $p < 0.05$ ) con el programa GraphPad Prism 6, este análisis se detalla en el Anexo 2 y Anexo 4.

El análisis de varianza de los resultados de nivel de agrado de la evaluación sensorial se realizó con el mismo programa y las tablas se presentan en el Anexo 5.

# Capítulo 3: Resultados

## 3.1 Aproximación de la caracterización reológica de corte

Se obtuvieron las gráficas de APG con agua a diversas concentraciones de manera preliminar.



**Figura 12 Curvas de flujo para agua con diversas concentraciones de APG**

En la *Figura 12* se presentan las curvas de flujo obtenidas con diferentes concentraciones de APG (0.5 a 10%) en agua, comparando su comportamiento reológico con las propiedades de los fluidos de referencia (Varibar) de dos consistencias: tipo honey y tipo pudding, los cuales se muestran con línea continua. Con estos resultados se determinaron de manera aproximada las concentraciones que se debían emplear para igualar los fluidos de contraste, de 5% a 10% de APG.

Todas las muestras en agua y los fluidos de contraste presentaron comportamiento no newtoniano, reofluidizante, lo que implica que la viscosidad cambia dependiendo de la velocidad de deformación.

Para las matrices que se seleccionaron (bebida de manzana, bebida hidratante, bebida de soya y leche saborizada sabor vainilla) se realizó la determinación de las curvas de viscosidad para diversas concentraciones de APG, cada una por triplicado y se determinó el promedio de las mediciones.

Posteriormente se seleccionaron las más adecuadas para empatar a los fluidos de contraste. A estas matrices seleccionadas se les aplicó la ley de potencia (con  $R^2=0.99$ ) para obtener los parámetros que describen el comportamiento reológico que presentaron.

Se determinaron las concentraciones en donde no se encontró diferencia significativa con un análisis de varianza (ANOVA  $p < 0.05$ ) (Anexo 2).

En la *Tabla 10* se muestran las concentraciones de APG que fueron seleccionadas después del análisis estadístico para las matrices alimenticias a probar, las cuales son de dos tipos:

1. Matriz base acuosa (bebida hidratante y bebida de manzana)
2. Matriz base proteína (leche saborizada y bebida de soya natural)

Tabla 10 Matrices seleccionadas y concentración de APG empleada

Matriz	Conc. APG (%m/v)	Abrev.
Bebida hidratante	7	BH7
Leche saborizada	7	LV7
Bebida de manzana	7	BM7
Bebida de manzana	10	BM10
Bebida de soya natural	9	BSN9

\*\*Como abreviatura se utilizan las iniciales de la matriz, el número corresponde al porcentaje de APG.

### 3.2 Análisis de seguridad para las matrices base acuosa (reología)

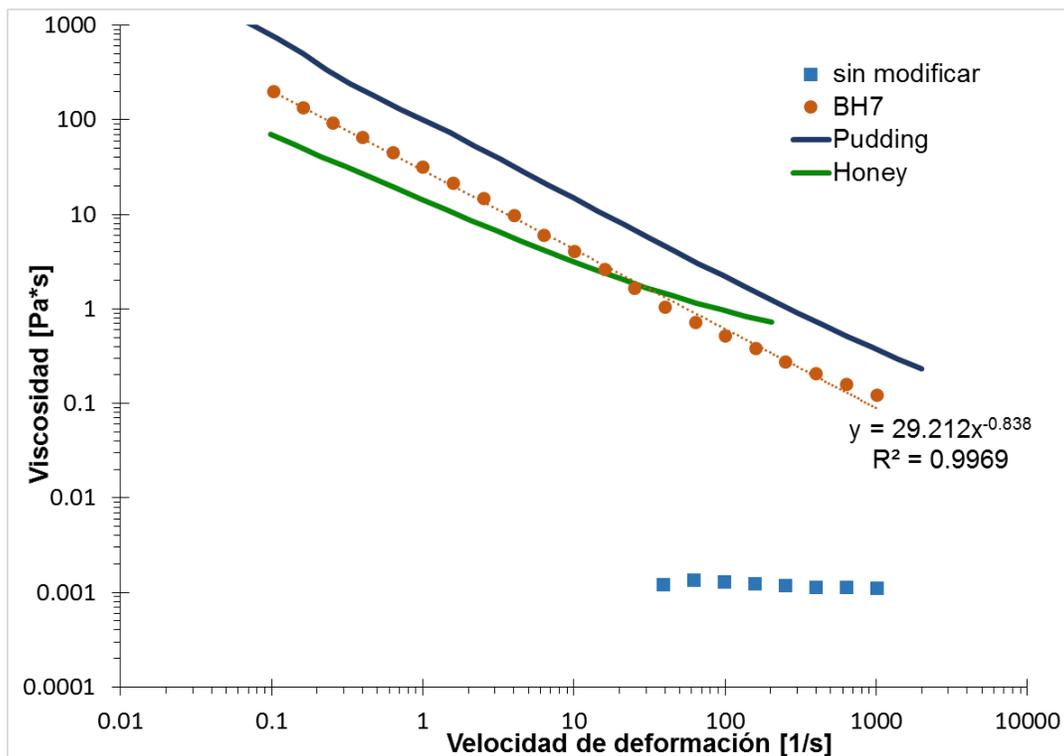
#### 3.2.1 Reología de corte

La bebida hidratante tiene la composición que se muestra en la *Tabla 7*, en dicha tabla se muestra que el principal componente de la bebida, después del agua, son los hidratos de carbono con 6%.

Los pacientes de disfagia presentan cuadros de deshidratación (Barroso, et al., 2012; Malagelada, et al., 2014; Velasco, et al., 2007), por lo que este tipo de bebidas han sido

sugeridas por instituciones de salud donde se tratan los pacientes con disfagia e incluso en otras investigaciones las han propuesto (Hyun & Byoungseung, 2014). No obstante, es importante mencionar que la bebida hidratante no contiene las mismas cantidades de minerales que los sueros orales. Por otro lado la bebida de manzana se propuso como una bebida de consumo habitual dentro del hospital, además de que se ha utilizado en otras investigaciones de este tipo (Hyun & Byoungseung, 2014; Soto, 2015).

Tanto la bebida hidratante como la bebida de manzana presentaron un comportamiento newtoniano, pues al variar la velocidad de deformación, la viscosidad de ambas bebidas se mantuvo constante (ver *Figura 13* y *Figura 14*). Esto es entendible pues el mayor componente de ambas bebidas es el agua, además de que ninguna de estas bebidas cuenta con algún polímero que pudiera interferir en el comportamiento de su viscosidad. La viscosidad de la bebida hidratante fue de 1.21 cP, mientras que para la bebida de manzana el valor de la viscosidad fue de 1.12 cP.



**Figura 13** Curva de flujo de la bebida hidratante modificada y sin modificar

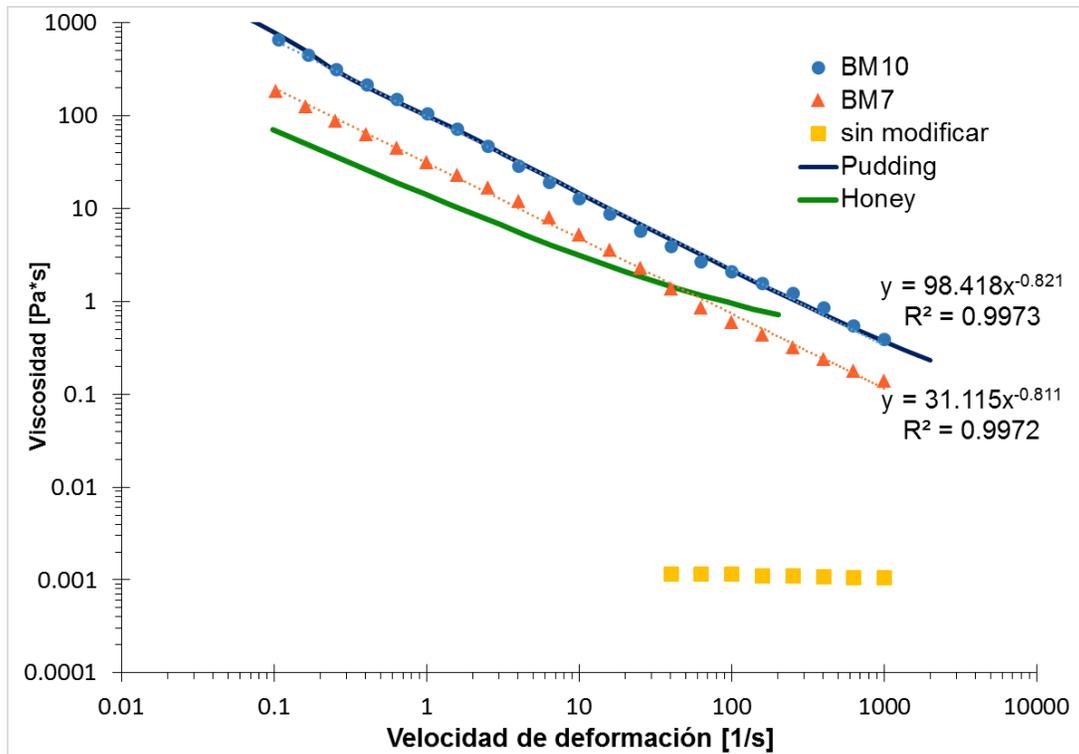


Figura 14 Curvas de flujo para la bebida de manzana, con 10%, 7% de APG y sin modificar

El hecho de que la bebida hidratante tenga una viscosidad ligeramente mayor que la bebida de manzana se relaciona con la cantidad de carbohidratos que contiene, ya que éstos contribuyen a la viscosidad.

Después de que la bebida hidratante y la bebida de manzana fueran modificadas con el APG, el comportamiento de la viscosidad fue alterado, pasando de un comportamiento newtoniano a un comportamiento reofluidizante (en ambos casos), es decir, a mayor velocidad de deformación la viscosidad disminuye. Lo anterior coincide con otros espesantes utilizados para modificar la consistencia de bebidas para el tratamiento de disfagia (Hyun & Byoungseung, 2014; Popa, et al., 2013).

La bebida rehidratante requirió de 7% de APG para empatar a la consistencia honey. Para la bebida de manzana se ocuparon dos concentraciones de APG con el fin de lograr dos consistencias diferentes, 7% y 10%, para equiparar las consistencias honey y pudding respectivamente.

En la *Tabla 11* se presentan los parámetros reológicos para BH7, BM7 y BM10 y la consistencia igualada.

Tabla 11 Parámetros reológicos de las bebidas modificadas y la consistencia igualada

Abrev.	n	k (Pa*s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	Consistencia
BH7	0.16	29.21	0.9969	Honey
BM7	0.19	31.12	0.9972	
BM10	0.18	98.42	0.9973	Pudding

En todos los casos se presentaron  $n$  menores a 1, 0.16 para BH7, 0.18 para BM7 y 0.19 para BM10. El índice de consistencia,  $k$ , fue mayor para BM10 que para BM7 y BH7, lo cual se debe al mayor contenido de sólidos en dicha matriz. Las bebidas BH7 y BM7, que tienen la misma concentración de APG, presentaron índices de consistencia muy semejantes (29.21 y 31.12, respectivamente).

Es importante recalcar que para lograr las viscosidades necesarias para empatar a los fluidos de contraste es necesaria una concentración de APG relativamente alta en comparación a otros espesantes que necesitan concentraciones menores al 3%, e incluso comparada a otro tipo de almidón, como la fécula de maíz. Lo anterior se explica porque el gránulo de almidón pregelatinizado al encontrarse hidratado pierde su forma cristalina, y esto le permite solubilizarse en agua a temperatura ambiente y formar una “pasta” (BeMiller & Huber, 2015).

Ambas bebidas al ser matrices con una composición poco compleja, permiten que la “pasta” de APG genere puentes de hidrógeno con el agua presente, con los hidratos de carbono, con los electrolitos (en el caso de BH7) y con las propias cadenas del almidón.

Los compuestos anteriores deberían de verse reflejado en una consistencia más firme para el caso de BH7 por el alto contenido de electrolitos e hidratos de carbono. Hedayati, et al. (2016), encontraron que los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y los hidratos de carbono se unen con el agua y disminuyen el agua libre, aumentando así la viscosidad. No obstante, también existen otros factores que la disminuyen como el pH y los iones  $\text{Na}^+$ , (Hedayati, et al., 2016).

La bebida de manzana tiene hidratos de carbono que ayuda al aumento de la viscosidad, si bien también contiene iones  $\text{Na}^+$ , estos se encuentran en menor cantidad que la bebida hidratante; el pH de la bebida es ácido, lo cual actúa en contra del aumento de la viscosidad de la pasta.

Con los valores de viscosidad aparente a  $50\text{s}^{-1}$  ( $\eta_{a50}$ ), calculados en *Anexo 2 Tabla 21*, se puede notar que  $\eta_{BH7a,50} = 1.10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  y  $\eta_{BM7a,50} = 1.30 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Según los valores propuestos por la NDD (ver *Tabla 2*), el intervalo para una consistencia tipo honey a  $50 \text{ s}^{-1}$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  es de  $0.35 - 1.75$ , por lo tanto la bebida hidratante como la bebida de manzana (al 7%) cumplen con los niveles de la American Dietetic Association (2002) para ser bebidas seguras en la deglución de pacientes con disfagia orofaríngea.

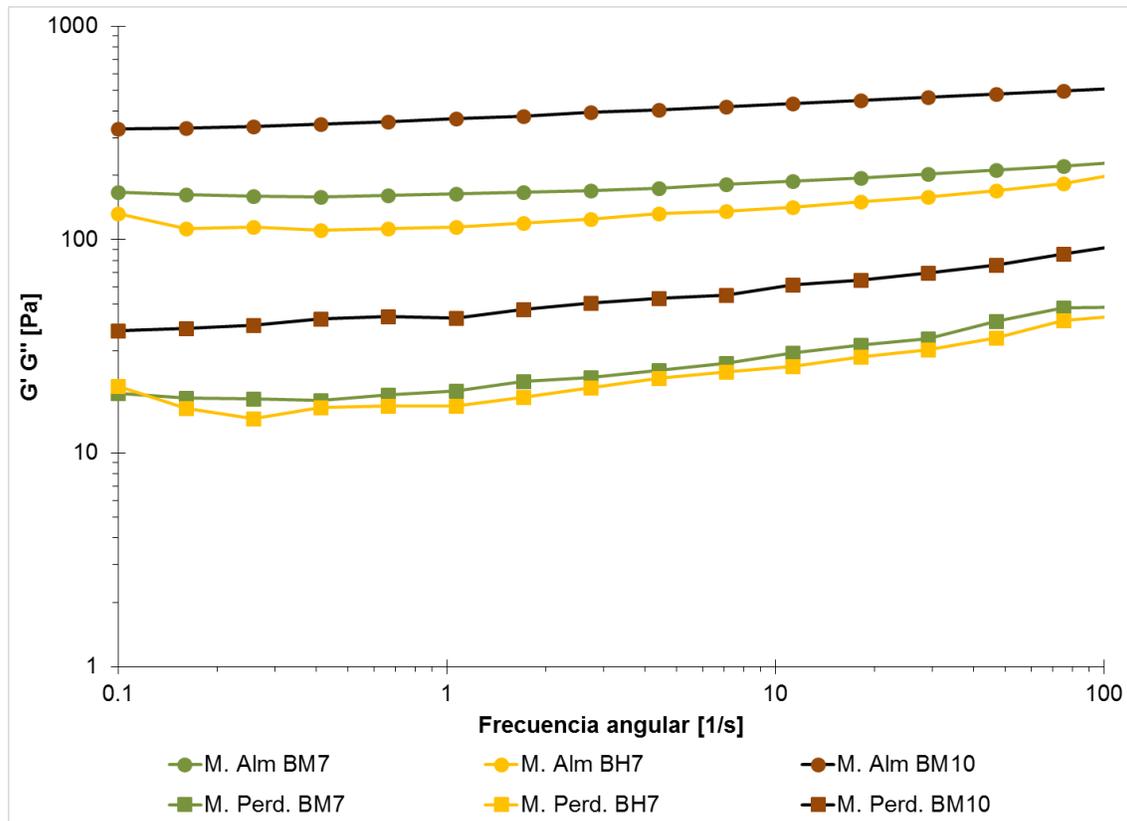
Por otro lado, la viscosidad aparente para BH10 a  $50 \text{ s}^{-1}$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  es de  $\eta_{BM10a,50} = 3.96 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Según los intervalos que se encuentran en la *Tabla 2*, la consistencia tipo pudding debe ser  $> 1.75 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , la cual BH10 también cumple, por lo tanto es segura en el manejo de la disfagia orofaríngea.

### 3.2.2 Pruebas reológicas dinámicas

Como se mencionó en el punto *1.2.4 Fluidos viscoelásticos*, las sustancias suelen presentar dos comportamientos principales: el comportamiento elástico, propio de los sólidos, y el comportamiento viscoso, para los fluidos. Sin embargo, la mayor parte de las sustancias presentan un comportamiento entre estos dos tipos, por lo que para la caracterización de las muestras en estudio se midió el módulo de almacenamiento ( $G'$ ), relacionado con la componente elástica, y el módulo de pérdida ( $G''$ ), relacionado con la componente viscosa. Para ello se realizaron barridos de porcentajes de deformación a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Posteriormente se realizaron barridos de frecuencia dentro de la región viscoelástica lineal (ver *Anexo 3*), con el fin de obtener el espectro mecánico de las bebidas modificadas.

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  $100 \text{ s}^{-1}$ , ya que los valores de los módulos leídos por el equipo por arriba de  $100 \text{ s}^{-1}$  corresponden a efectos de inercia generados por las

altas frecuencias a las que es sometida la muestra y no se relacionan con el comportamiento viscoelástico del producto.



**Figura 15 Módulos de pérdida y almacenamiento para BH7, BM7 y BM10**

En las bebidas modificadas BH7, BM7 y BM10 se presentaron ambos módulos, prevaleciendo el componente elástico, módulo de almacenamiento, en todos los casos (*Figura 15*). La bebida BH10 presentó el módulo de almacenamiento más elevado, lo cual puede ser explicado de la siguiente manera: al tener una alta concentración del espesante se favorece la formación de una red más compacta. En relación a las muestras BM7 y BH7 el módulo de almacenamiento, fue mayor para BM7 que para BH7. Con respecto al módulo de pérdida (componente viscosa) en todos los casos fue menor al módulo de almacenamiento respectivo. Además se observó que las bebidas BH7 y BM7 presentaron módulos de pérdidas muy semejantes. Las bebidas modificadas presentaron el comportamiento de un gel débil (Kumagai et al., 2009).

En todo el intervalo de frecuencias en el que se trabajó, las tres muestras de base acuosa permanecieron estables y por la existencia del componente elástico, se podría considerar

a los productos espesados como cohesivos, homogéneos y adecuados para una deglución segura.

### 3.2.3 Reología extensional

Aunque los productos son cohesivos y homogéneos, es importante estudiar el comportamiento al flujo de elongación de estas bebidas, pues durante el proceso de deglución, el bolo alimenticio suele ser deformado. Desafortunadamente, se le ha puesto poca atención al rol del flujo extensional para evaluar desórdenes de deglución (Gallegos, et al., 2012), y comercialmente este tipo de comportamiento suele ignorarse.

Para evaluar el comportamiento de las bebidas modificadas al flujo extensional se utilizó un reómetro extensional de orificio de bomba de lóbulos de diseño propio del CCADET-UNAM, donde la contracción 1:4 sirvió para generar velocidades bajas de elongación (fase esofágica), y la contracción 1:8 para las velocidades altas (fase faríngea).

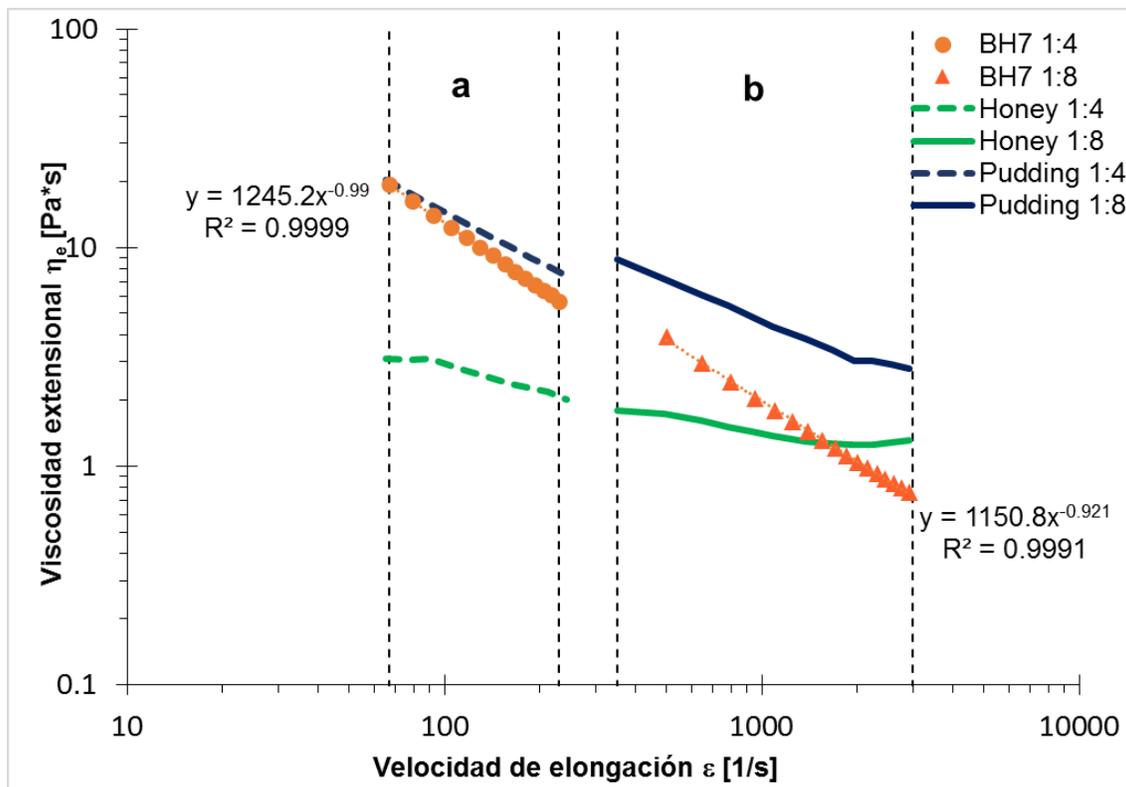


Figura 16 Curvas de flujo extensional de los fluidos de contraste y BH7, para velocidades de elongación baja (a) y velocidades de elongación alta (b)

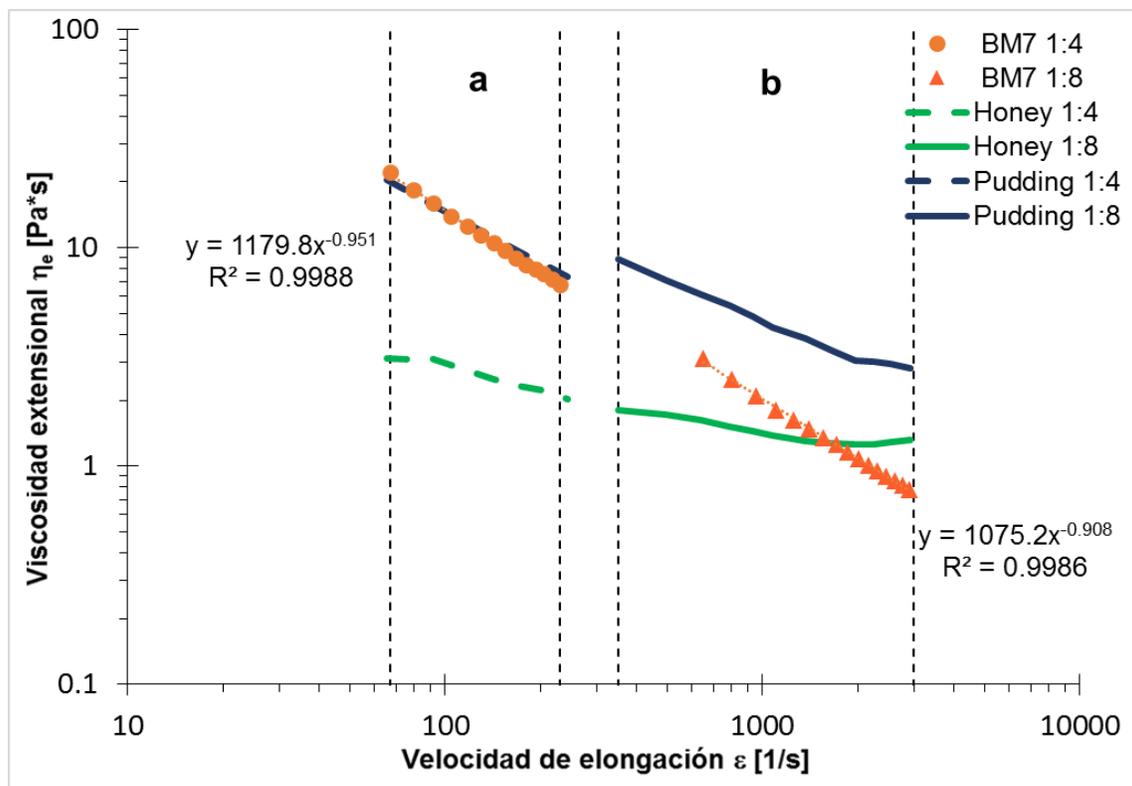


Figura 17 Curvas de flujo extensional de los fluidos de contraste y BM7, para las velocidades de elongación baja (a) y velocidades de elongación altas (b).

En la *Figura 16* y *Figura 17* se observa el comportamiento que presentaron las bebidas BH7 y BM7 al flujo extensional, respectivamente. En la primera parte de la gráfica (velocidades bajas), las bebidas modificadas se comportaron como el fluido de contraste de consistencia pudding, mientras que en la segunda parte de la gráfica (velocidades altas), las muestras tendieron a comportarse como el fluido de contraste honey. En general, ambas bebidas mostraron un comportamiento de un fluido reofluidizante y en ambas velocidades permanecieron estables.

Los datos obtenidos para BH7 y BM7 obedecen a la ley de potencia ( $R^2=0.99$ ), los parámetros se presentan en la *Tabla 12*. 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 reología de corte (*Figura 8*), cambiando su nomenclatura debido a que no corresponden a un estudio de cizalla.

Tabla 12 Parámetros de la ley de potencia para BH7 y BM7 para flujos extensionales.

	BH7		BM7	
	Vel. Bajas	Vel. Altas	Vel. Bajas	Vel. Altas
$l$	1245.20	1150.80	1179.8	1075.20
$m-1$	-0.99	-0.92	-0.95	-0.91
$m$	0.01	0.08	0.05	0.09
$R^2$	0.9999	0.9991	0.9983	0.9986

Aunque las bebidas al final fluidizan no representan riesgo al paciente con disfagia, pues aunque no se tiene valores exactos sobre la velocidad de elongación en esta etapa de la deglución, estadísticamente no hay diferencia significativa.

La tendencia que se observa en las bebidas, es que a bajas velocidades presentan valores mayores de índice de consistencia, y en el índice de comportamiento al flujo se presentan valores menores en bajas velocidades elongación que en altas (*Tabla 12*), lo que coincide con los estudios realizados con fécula de maíz (Soto, 2015).

En todos los casos los valores de  $m$  son menores a uno, lo que se relaciona con su carácter refluidizante; sin embargo, son valores más alejados que los obtenidos en los ensayos en la reología de corte, esto implica que el fluido al ser sometido a esfuerzos de elongación se aleja aún más del comportamiento newtoniano. Lo anterior contrasta con las bebidas espesadas con fécula de maíz, las que al ser sometidas al mismo tipo de esfuerzos tendían a comportarse más como un fluido newtoniano. Lo anterior se explica, pues en las bebidas espesadas con fécula de maíz el gránulo de almidón se gelatiniza y absorbe el agua de la matriz utilizada; además, actúa como plastificante, que incrementa la movilidad de la cadena polimérica permitiendo el flujo de partículas adyacentes (Soto, 2015), mientras que el almidón pregelatinizado solo se disuelve en la matriz (BeMiller & Huber, 2015), lo que evita la formación de una cadena polimérica, por lo que al ser sometido a elongación la bebida modificada tiene a fluidizarse más.

De acuerdo a los resultados encontrados, las bebidas modificadas son seguras para la deglución de pacientes con disfagia, pues no hubo diferencia significativa (Anexo 4) en velocidades altas de elongación (fase faríngea) con respecto a los fluidos de referencia.

Tomando en cuenta los 3 ensayos reológicos, de corte, dinámicos y extensionales, es posible concluir que las bebidas base acuosa con 7 por ciento de almidón pregelatinizado o más (BM10, para igualar la consistencia pudding) son seguras para la deglución de pacientes con disfagia.

### **3.3 Análisis de seguridad para las matrices base proteína (reología)**

#### **3.3.1 Reología de corte**

Las bebidas base proteínas empleadas en este trabajo experimental se encuentran en la *Tabla 8*, junto con su composición porcentual.

Clavé, *et al.* (2004), propusieron que los pacientes con disminución de la eficiencia de la deglución necesitan ajustes dietéticos para cubrir sus requerimientos calóricos y proteínicos en el volumen limitado de alimentos que pueden ingerir. Si bien la cantidad de proteínas aportadas por la leche en un volumen pequeño no es suficiente para satisfacer los requerimientos nutrimentales de una persona mayor, aporta proteína de buena calidad. Como alternativa para las personas intolerantes o que no consumen leche por diversas razones, se pensó adicionalmente en una bebida de soya.

La leche saborizada contiene gomas para mejorar la estabilidad en vida de anaquel, lo que generó un comportamiento reofluidizante (ver *Figura 18*). La bebida de soya también presentó un comportamiento reofluidizante (ver *Figura 19*), por la presencia de goma xellana y carragenina, a bajas concentraciones. Sin embargo, como se observa en las *Figura 18* y *Figura 19*, las bebidas se encuentran muy por debajo de los fluidos de contraste, y difícilmente se podría asegurar que el tránsito de éstas hasta el estómago sea lento, un aspecto importante para una deglución segura en los pacientes. Por ello se espesaron las bebidas con APG, y se seleccionaron las más adecuadas con un análisis estadístico (ver Anexo 2). Las concentraciones seleccionadas fueron 7% para LV7, con consistencia honey, y 9% para BSN9, con una consistencia pudding.

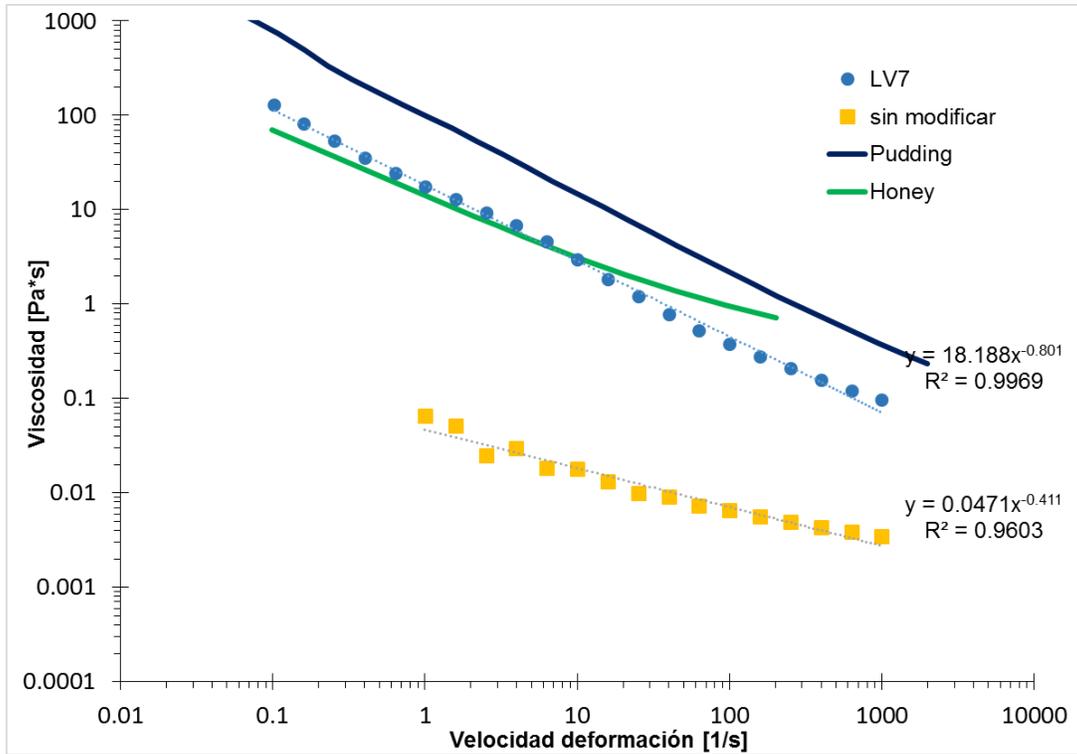


Figura 18 Curva de flujo para la leche saborizada modificada y sin modificar

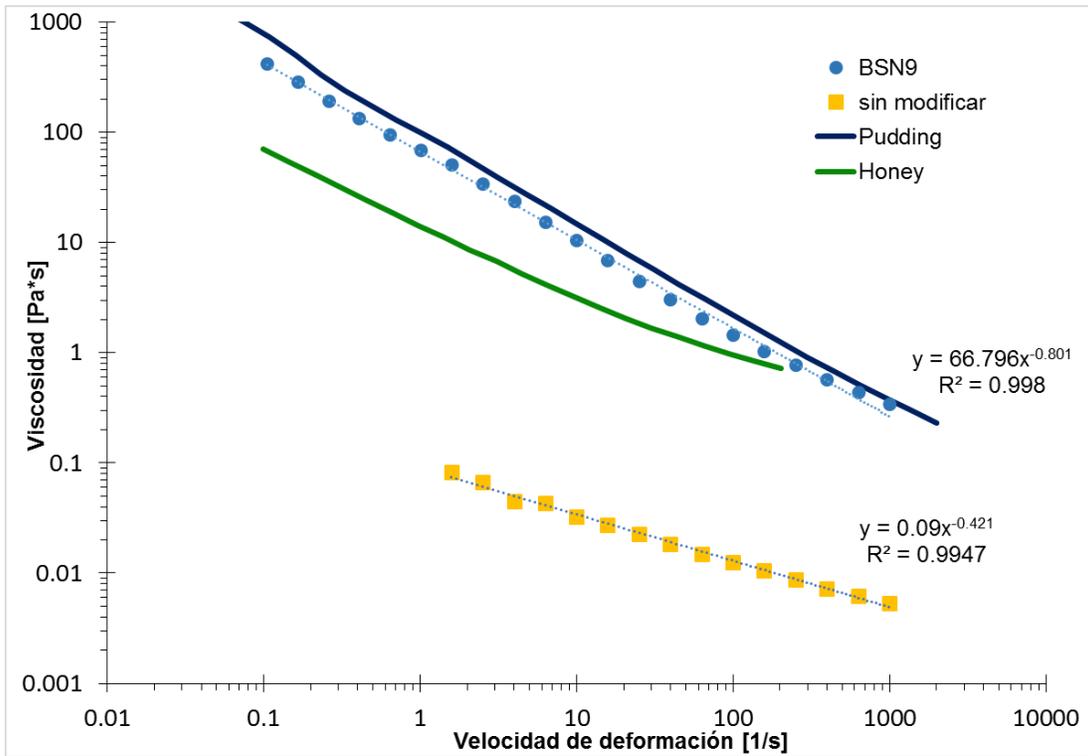


Figura 19 Curva de flujo para la bebida de soya modificada y sin modificar

La leche saborizada tuvo un índice de consistencia bajo, 0.0471 y un índice de comportamiento de flujo igual a 0.59, mientras que la bebida de soya natural mostró un índice de consistencia de 0.09 y el índice de comportamiento de flujo fue de 0.58. La bebida de soya tuvo una consistencia ligeramente mayor que la leche saborizada. No obstante, después de modificarlas con AGP, se obtuvo una  $k$  notoriamente mayor para LV7, 18.188, lo que significa un incremento de 400 veces; además de esto,  $n$  disminuyó con un valor de 0.20 (*Tabla 13*), lo que se interpreta como que el fluido obtuvo un carácter reofluidizante. Para la bebida de soya con 9% de APG el índice de consistencia aumentó 700 veces y  $n$  disminuyó a un valor de 0.20.

Tabla 13 Parámetros de la ley de potencia para LV7 y BSN9 y la consistencia igualada

Abrev.	$n$	$k$ (Pa*s <sup><math>n</math></sup> )	$R^2$	Consistencia
LV7	0.20	18.19	0.9969	Honey
BSN9	0.20	66.80	0.9980	Pudding

Al igual que en las bebidas base acuosa, el carácter reofluidizante se mantuvo en las bebidas con base proteína; sin embargo, se encontró una diferencia notable entre el índice de consistencia de LV7, BH7 y BM7. Las bebidas de base acuosa, con 7% de APG, tuvieron valores de  $k$  cercanos a 30 (29.21 y 31.12), mientras que la leche saborizada mostró un valor de índice de consistencia,  $k$ , más bajo (18.20), aun utilizando la misma concentración de APG. A pesar de que la bebida LV7 tiene mayor contenido de sólidos (proteínas, lípidos, hidratos de carbono, *Tabla 8*) e incluso algunas gomas, no se reflejó en una consistencia mucho más firme.

En relación a la viscosidad a 50 s<sup>-1</sup> ( $\eta_{a50}$ ), ésta fue menor para LV7 que para las bebidas de base acuosa (*Tabla 21*); se puede notar que  $\eta_{BH7a50} = 1.10 Pa * s$  y  $\eta_{BM7a50} = 1.30 Pa * s$ , mientras que  $\eta_{LV7a,50} = 0.79 Pa * s$ .

Lo anterior se debe a la diferencia de la composición entre las matrices. Hadde y su equipo (2015) se dieron a la tarea de determinar cómo interfieren los componentes de la leche con el espesante, encontraron que una mayor concentración de proteínas aumenta la viscosidad de la matriz; la lactosa no tuvo un efecto aparente y el Ca<sup>2+</sup> aumentó

ligeramente la viscosidad. A pesar de las diferencias encontradas esto no pone en riesgo la deglución de la bebida.

Hadde, *et al.*, 2015 no estudiaron el ion  $\text{Na}^+$ , sin embargo, Hedayati, *et al.*, (2016), determinaron que dicho ion tiene un efecto negativo sobre la viscosidad al espesar con APG, ya que la disminuye. Esto coincide con el contenido de sodio dentro de las matrices (ver *Tabla 7* y *Tabla 8*), puesto que la matriz con menor contenido de  $\text{Na}^+$  (bebida de manzana) tuvo el mayor índice de consistencia ( $k$ ) y la mayor  $\eta_{a50}$ , seguida de la bebida hidratante y de la leche saborizada.

Para las dos bebidas de base proteína, se obtuvo la  $\eta_{a50}$  (*Tabla 21*), obteniéndose  $\eta_{LV7a50} = 0.79 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . El intervalo que sugiere la NDD para una consistencia tipo honey,  $50 \text{ s}^{-1}$ ,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , es de  $0.35 - 1.75 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , por lo cual la bebida modificada LV7 cumple con ello. Para el caso de BSN9, se tuvo una  $\eta_{BSN9a50} = 2.91 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , el valor aceptado es  $>1.75 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  para la consistencia tipo pudding, por lo que también esta bebida modificada cumple con lo sugerido por la ADA (2002).

### 3.3.2 Pruebas reológicas dinámicas

En las *Figura 20* y *Figura 21*, se observa que las bebidas sin modificar presentaron ambos módulos (almacenamiento y pérdida), por lo que se puede decir que las bebidas tienen un comportamiento intermedio entre el comportamiento viscoso y el comportamiento elástico, aunque el componente viscoso es predominante a frecuencias menores de  $1 \text{ s}^{-1}$ . A frecuencias mayores, la leche saborizada tiende a disipar toda la energía por lo que el módulo de pérdida es mayor, y la elasticidad se pierde.

El comportamiento de las bebidas no modificadas, según Kumagai *et al.* (2009), es el comportamiento que presenta una solución diluida de un polímero, lo que concuerda con la composición de ambas matrices, pues contiene polímeros (gomas), que se encuentran en una concentración baja. Al modificar las bebidas, con sus respectivos porcentajes de APG, se genera un cambio en dichos módulos, pues en ambos casos se nota, que en todo el intervalo de frecuencia trabajado, el componente elástico es mayor que el componente viscoso.

Las bebidas base proteína modificadas permanecieron estables en todo el intervalo de frecuencias evaluado, por lo que se puede considerar a los productos espesados como cohesivos, homogéneos y adecuados para una deglución segura.

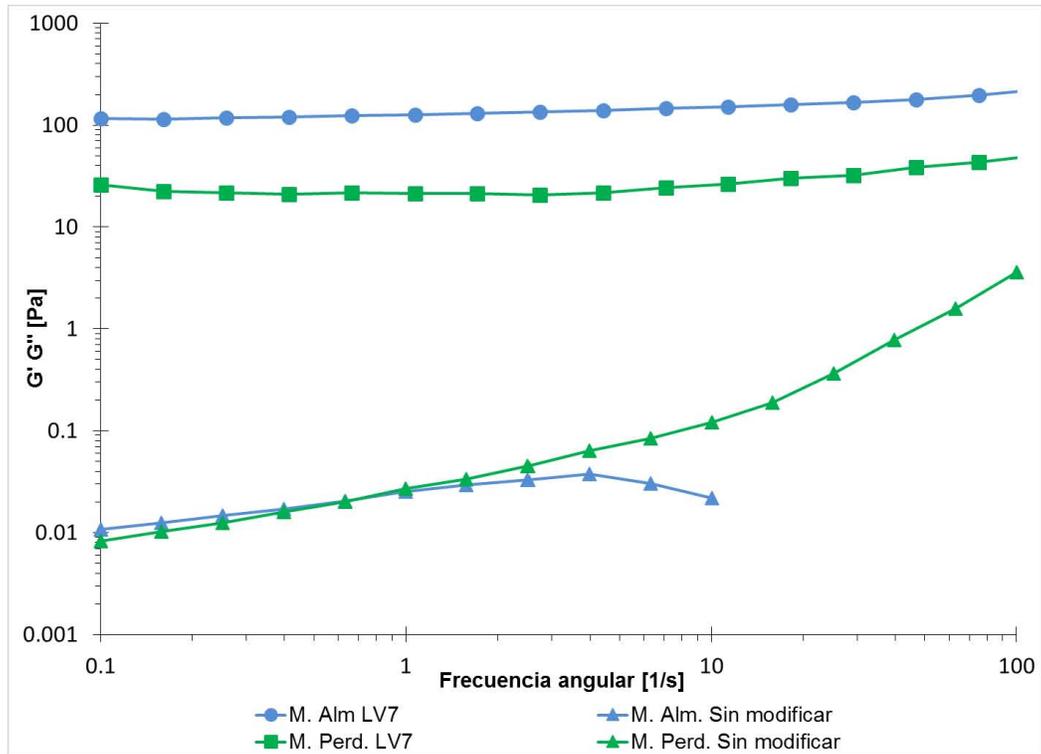


Figura 20 Módulos de pérdida y almacenamiento para LV7 y la bebida sin modificar

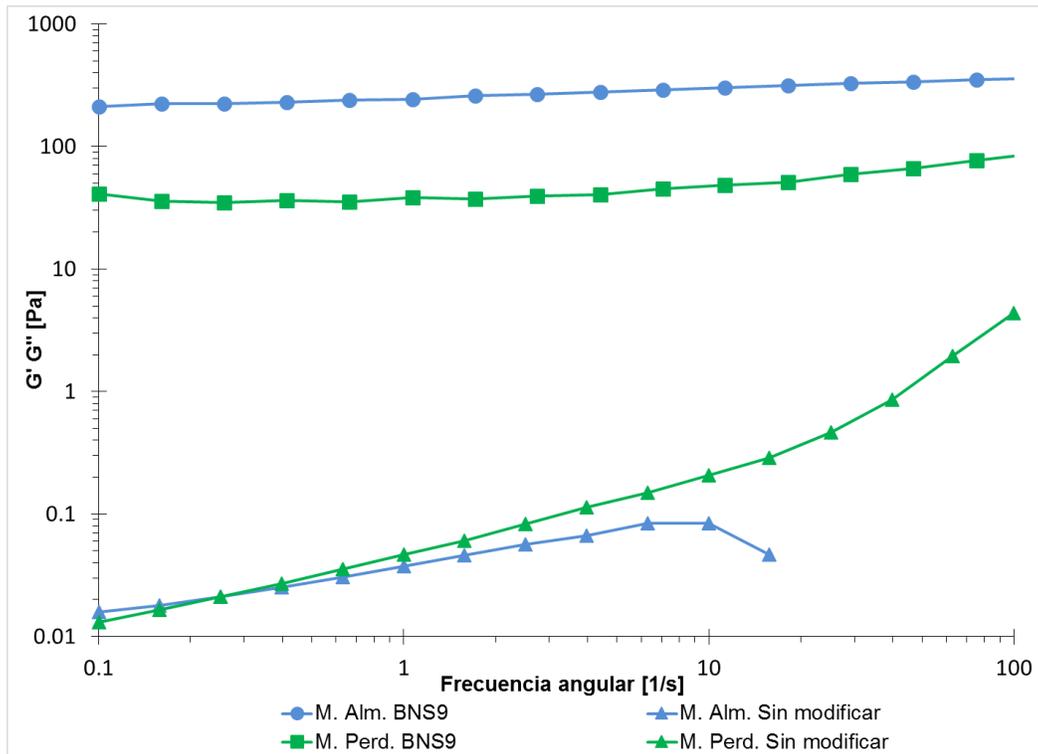


Figura 21 Módulos de pérdida y almacenamiento para BSN9 y la bebida sin modificar

### 3.3.3 Reología extensional

Debido a que ambas bebidas de base proteína presentaron el módulo de almacenamiento (componente elástico), es importante verificar el comportamiento a esfuerzo extensionales. Las bebidas modificadas se evaluaron de la misma manera que las matrices de base acuosa. Sin embargo, se considera más importante el comportamiento a altas velocidades de elongación por dos razones: la primera es que a estas velocidades se da el tránsito del bolo por la faringe durante la etapa faríngea de la deglución, aspecto que nos compete en este estudio. La segunda razón es que si asegura una estabilidad a altas velocidades de elongación también se puede hacer a bajas velocidades de elongación.

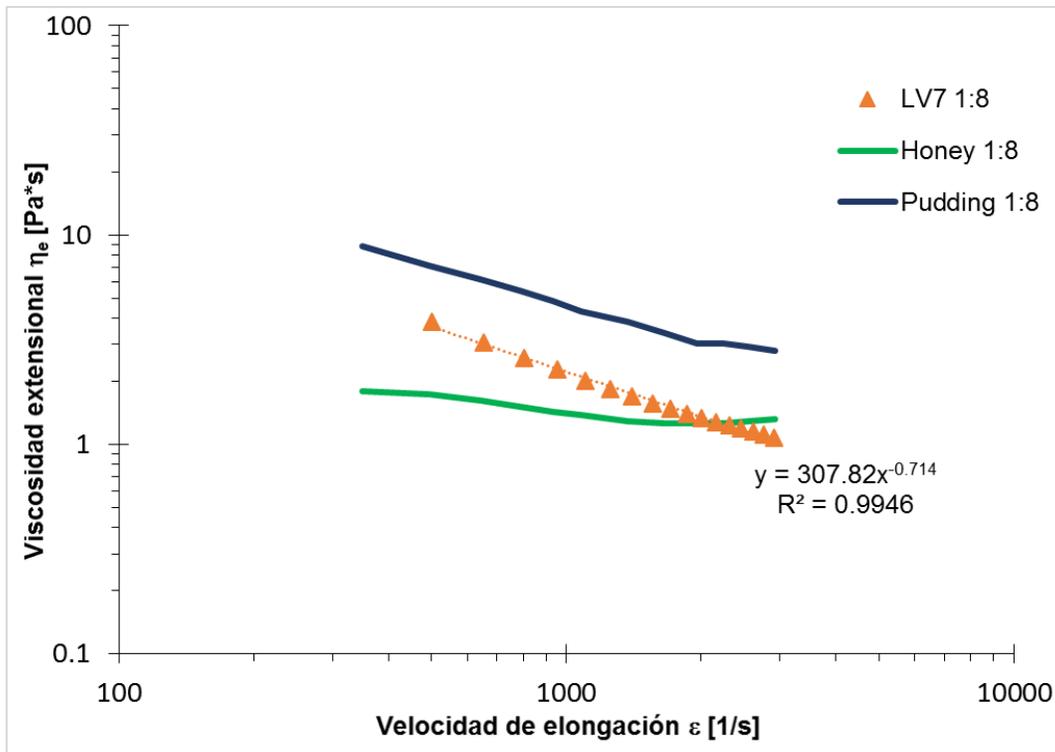


Figura 22 Curvas de flujo extensional para los fluidos de contraste y LV7 a altas velocidades de elongación

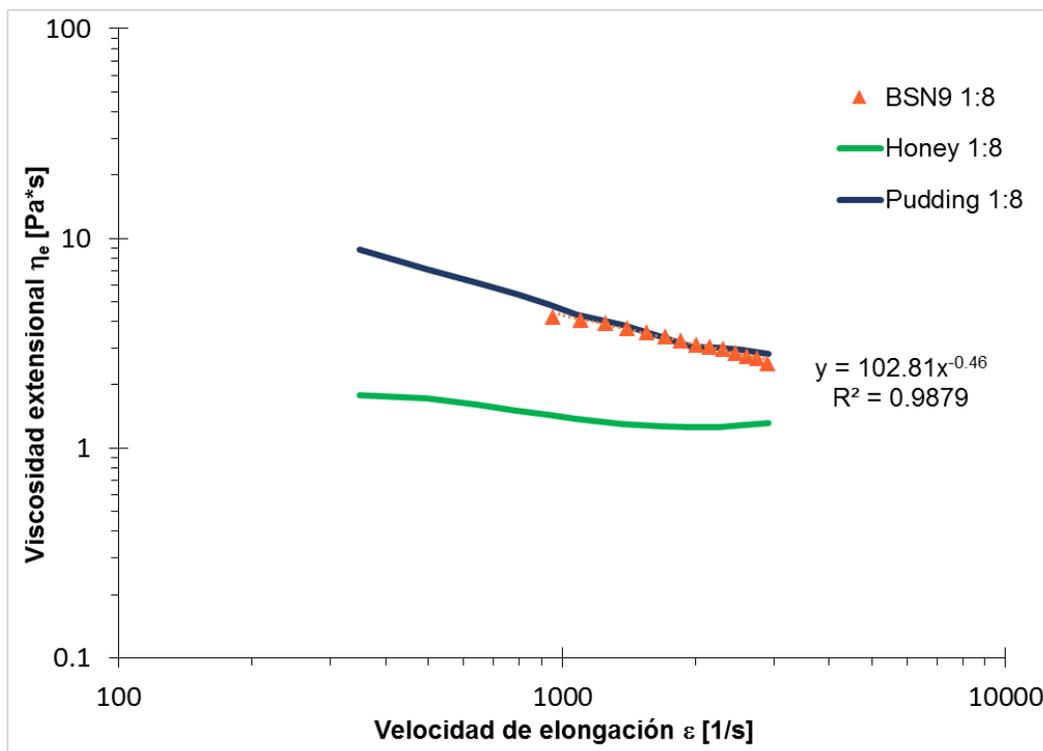


Figura 23 Curvas de flujo extensional para los fluidos de contraste y BSN9 a altas velocidades de elongación

En la *Figura 22* se puede notar que la bebida LV7 se comporta como el fluido de contraste tipo honey, mientras que en la BSN9 (*Figura 23*) se comporta como el fluido de contraste tipo pudding (Anexo 4).

Tabla 14 Parámetros de la ley de potencia para LV7 y BSN9 para flujos extensionales

	<b>LV7</b>	<b>BSN9</b>
<b>I</b>	307.82	102.81
<b>m-1</b>	-0.71	-0.46
<b>m</b>	0.29	0.54
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9946	0.9518

El índice de consistencia (*I*) de LV7 fue 307.82, lo que es notablemente inferior a los índices de consistencia que se obtuvieron con las matrices base acuosa (*Tabla 12*) aunque esto no representa un riesgo, pues en el análisis estadístico no se encontró diferencia significativa; sin embargo, los índices de flujo (*m*) fueron mayores para las bebidas de base proteína, siendo la *m* de BSN9 la mayor de todas. Lo anterior indica que la bebida modificada tiende a comportarse como un fluido newtoniano, pero no deja de ser un fluido reofluidizante.

Las matrices de base acuosa tienden a reofluidizarse más mientras la velocidad de elongación aumenta, en cambio la matriz de base proteína es menos reofluidizante. El comportamiento de estas bebidas (base proteína) seguramente se debe a la presencia de las proteínas, pues se sabe que algunas de ellas tienen influencia en las propiedades elásticas.

Debido a que las bebidas no presentaron diferencia significativa a altas velocidades de elongación (zona de interés), las bebidas modificadas son seguras y estables a esfuerzos de elongación, lo que asegura una deglución segura para los pacientes con disfagia.

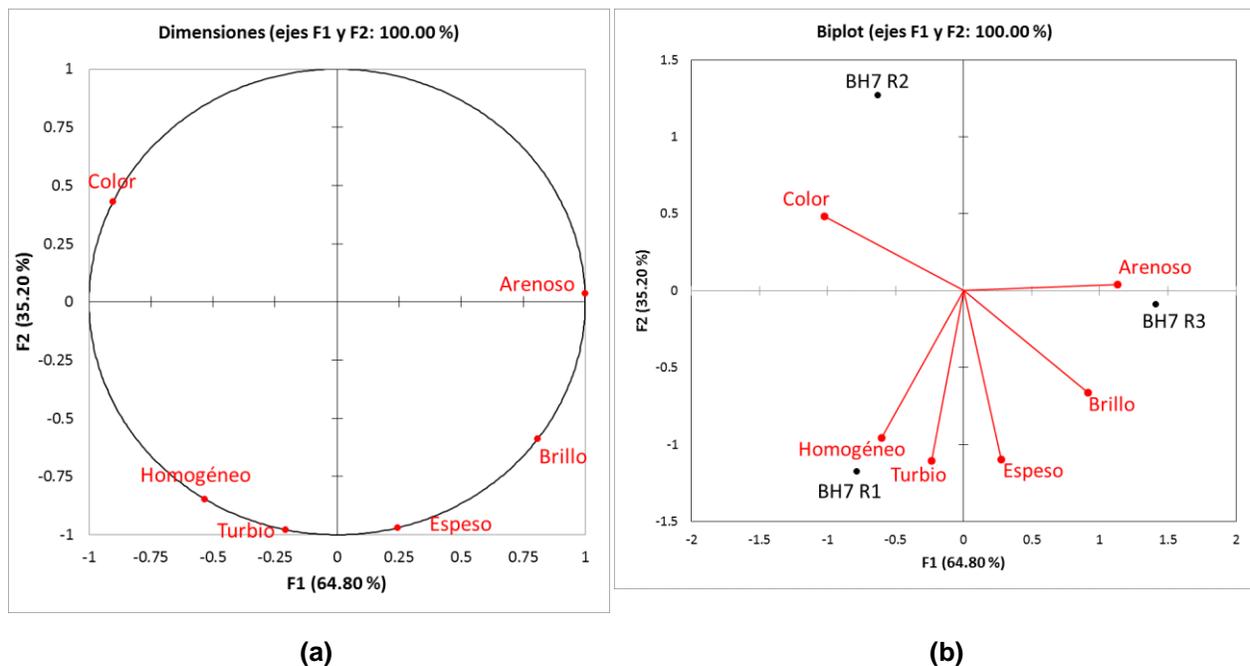
Tomando en cuenta los 3 ensayos reológicos, de corte, dinámicos y extensionales, las bebidas base proteína con 7% (LV7) o 9% de APG (BSN9) que empatan las consistencias honey y pudding, respectivamente, son seguras para la deglución de pacientes con disfagia.

### 3.4 Perfil Flash de las matrices modificadas

La caracterización de las bebidas modificadas es importante, pues el uso de agentes espesantes (como el APG) pueden alterar las características sensoriales de los alimentos, y esto se refleja en la aceptación y nivel de agrado del alimento modificado (Matta, et al., 2006). Para las características de las bebidas modificadas se realizó el perfil flash y los resultados se presentan agrupados por muestras y repeticiones.

#### 3.4.1 Perfil Flash para matriz base bebida hidratante

Una vez modificada la bebida hidratante se generaron los atributos que describieran la mayor parte de la variabilidad de la muestra. Dichos atributos fueron de apariencia, olor, textura y sabor.



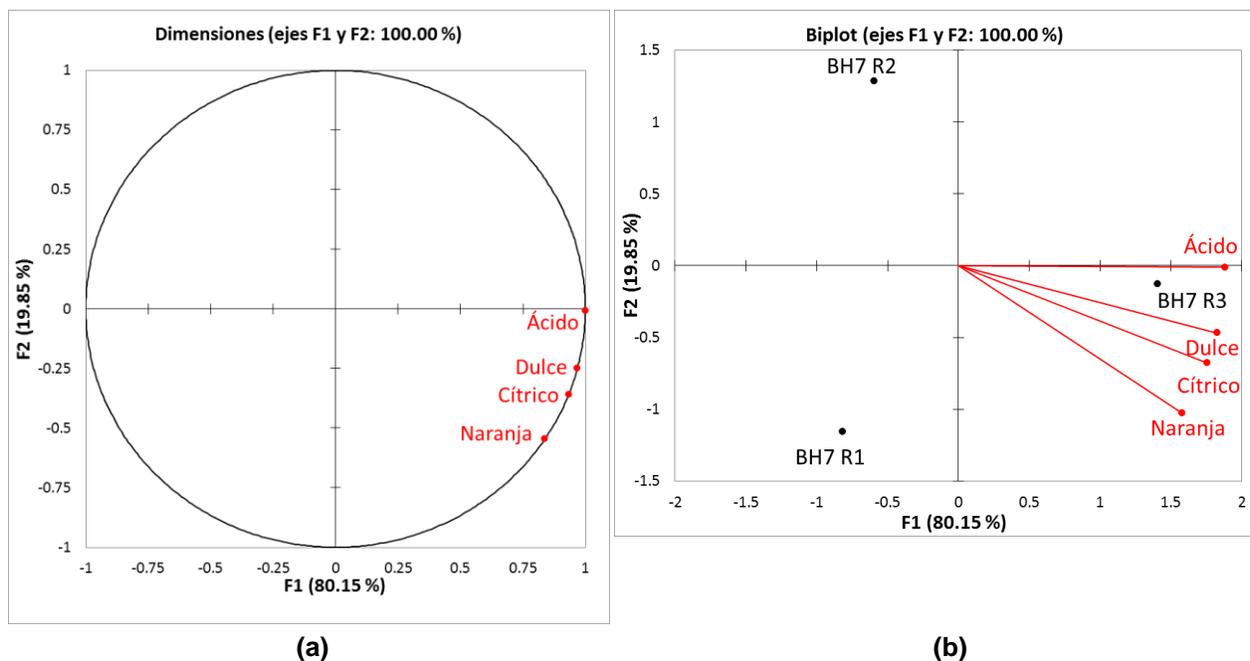
**Figura 24 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de aspecto para BH7 con tres repeticiones**

Los resultados de los datos de apariencia del ACP para BH7 se muestran en la *Figura 24a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 64.80% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 35.20%, entre ambos explican el 100.00%.

Los atributos que tiene BH7 son color (naranja), arenoso, homogéneo, turbio, espeso y brillo. El color y el brillo son debidos a la matriz de origen, mientras que los atributos

espeso, homogéneo, turbio y arenoso se explican debido al uso del APG para espesar la bebida, ya que este espesante tiene la característica de impedir el paso de la luz a través del líquido.

En la *Figura 24b* se observan las 3 repeticiones de BH7, de ellas se nota que la muestra no fue homogénea al realizar las evaluaciones, pues en cada repetición aparece en un cuadrante diferente y están alejados entre sí.

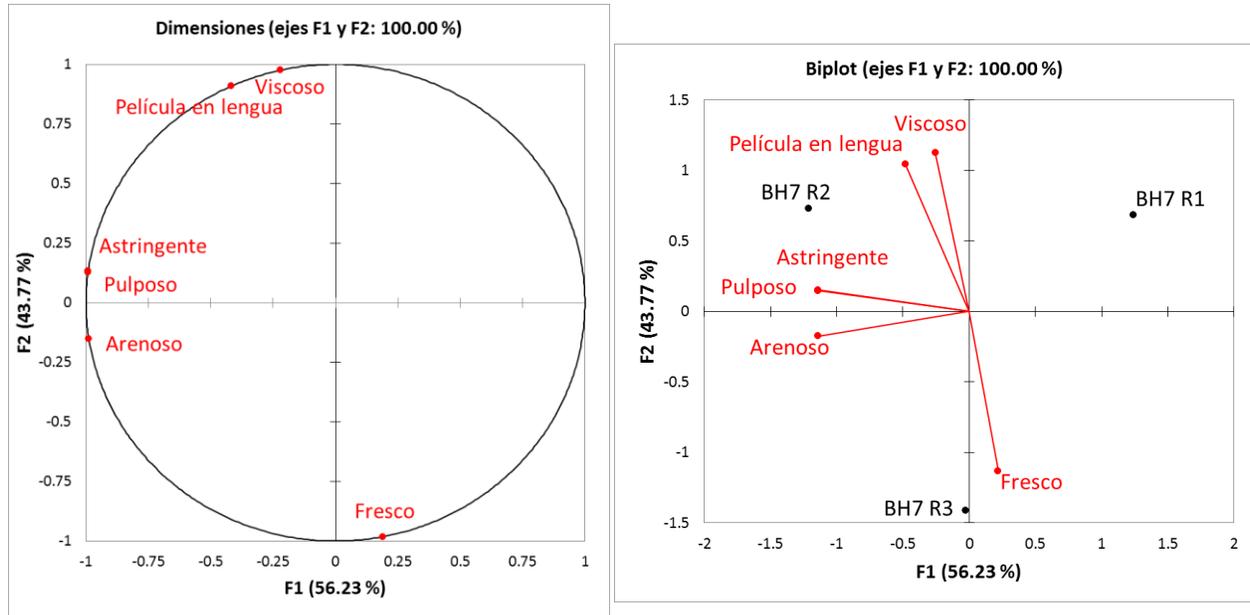


**Figura 25 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para BH7 con tres repeticiones**

Los resultados de los datos de olor del ACP para BH7 se muestran en la *Figura 25a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 80.15% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 19.25%, entre ambos explican el 100.00%.

Los olores que se perciben en BH7 son ácido, dulce, cítrico y naranja, todos estos olores son debidos a la matriz utilizada, puesto que en su composición tiene: azúcar, ácido cítrico y concentrado sabor naranja. De esta manera se puede notar que el APG no aporta nuevos olores a la matriz y no interfiere en la percepción de los olores en la muestra.

En la *Figura 25b* se observa las tres repeticiones, las cuales al igual que en el caso anterior señalan que la muestra no fue homogénea pues las repeticiones salieron en cuadrantes diferentes y están alejados entre sí.



**Figura 26 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para BH7 con tres repeticiones**

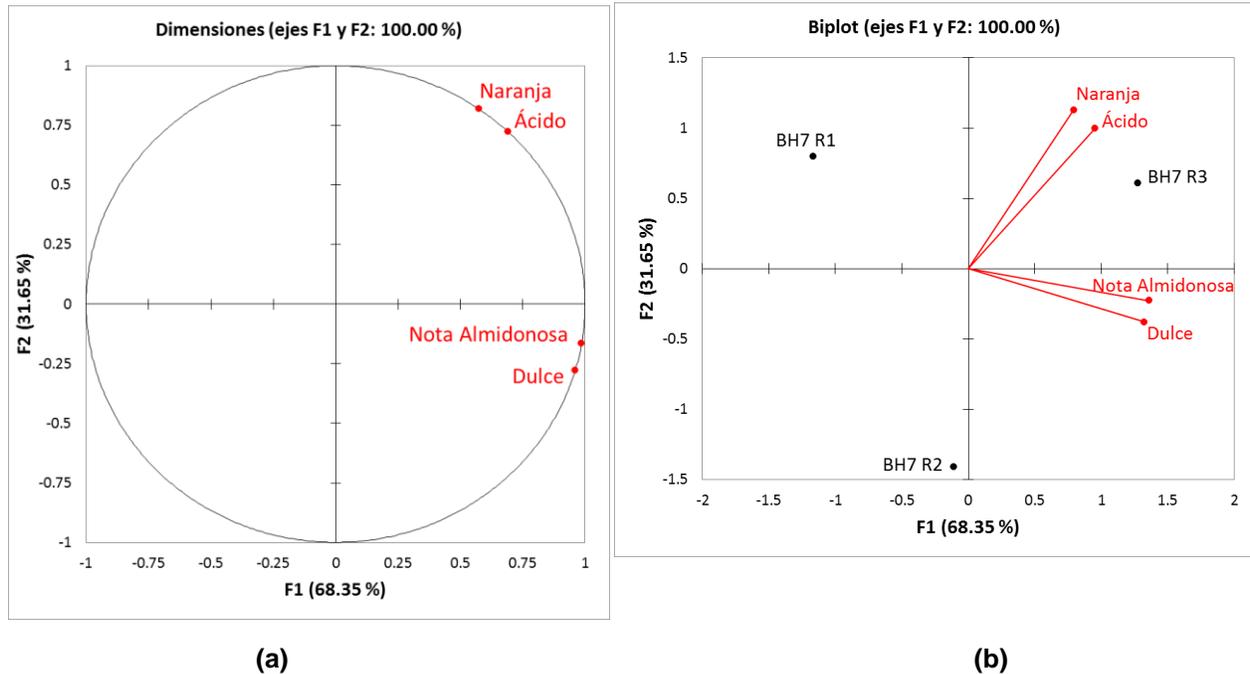
Los resultados de los datos de textura de ACP para BH7 se muestran en la *Figura 26a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 56.23% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 43.77%, entre ambos explican el 100.00%.

Las texturas de BH7 son viscoso, película en lengua, astringente, pulposo, arenoso y fresco. De estos atributos solo uno de ellos es debido a la matriz de origen de la muestra (fresco), el resto de los atributos son debidos al espesante empleado. Cabe mencionar que el atributo viscoso era uno de los atributos esperados, pues es la principal propiedad que se buscó modificar. Existen estudios en los que se determinó que espesantes base almidón, como el APG, generan astringencia (Matta, et al., 2006).

Asimismo, la textura arenosa indica que el polvo de APG al incorporarse a la bebida genera pequeños gránulos, perceptibles, lo que provoca una sensación arenosa (Matta,

et al., 2006). La película en lengua es debido al tránsito lento de la bebida modificada, lo cual es importante.

La *Figura 26b* indica que la muestra no fue homogénea, por lo que las repeticiones aparecen en cuadrantes diferentes.



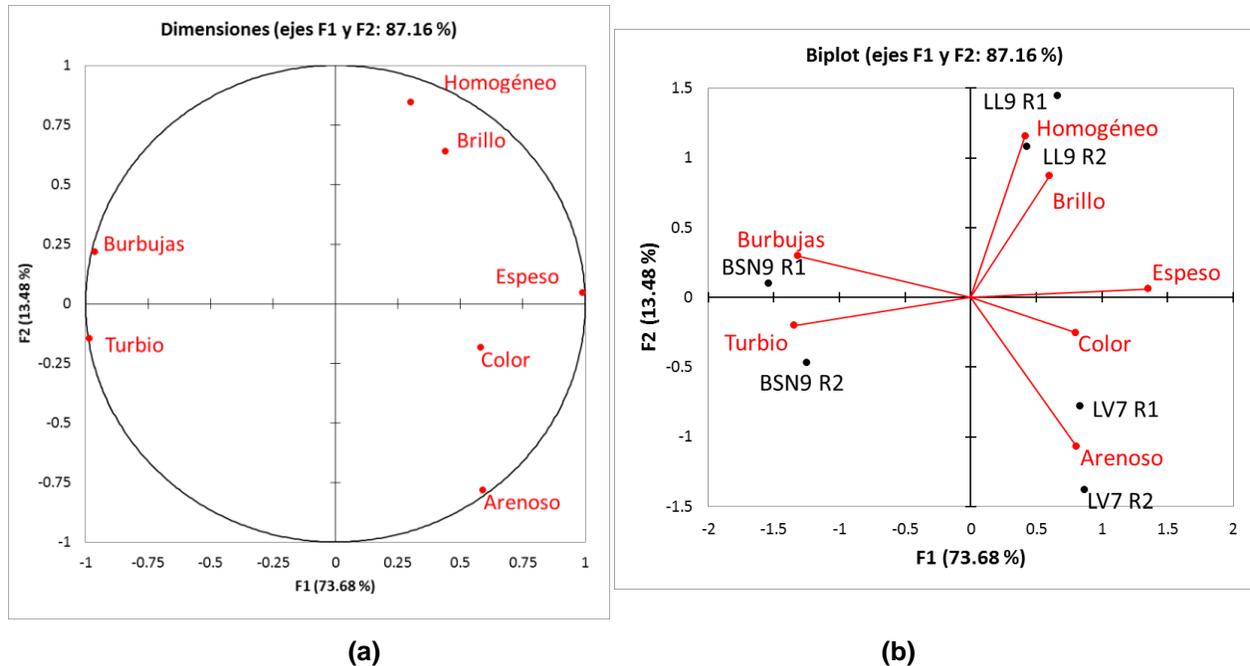
**Figura 27 (a) Análisis de componente principales de sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para BH7 con tres repeticiones**

Los resultados de los datos de ACP de sabor para BH7 se muestran en la *Figura 27a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 68.35% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 31.65%, entre ambos explican el 100.00%.

Los sabores presentes en la bebida modificada son naranja, ácido, dulce (debidos a la matriz alimenticia empleada, como ya se mencionó anteriormente) y nota almidonosa, esto debido al uso del APG como agente espesante. Como se hizo notar en la sección de atributos de olor, el APG no afecta el aroma (a concentración del 7%), sin embargo sí genera un nuevo atributo de sabor, que hace referencia al origen del espesante.

En la *Figura 27b* se puede notar que las repeticiones fueron distintas, pues no se encontraron cercanas.

3.4.2 Perfil Flash para matriz base leche sabor vainilla, leche light y bebida de soya  
 Para las bebidas base proteína se realizó el perfil Flash para compararlas entre sí, además se agregó la leche light, espesada al 9% (LL9).



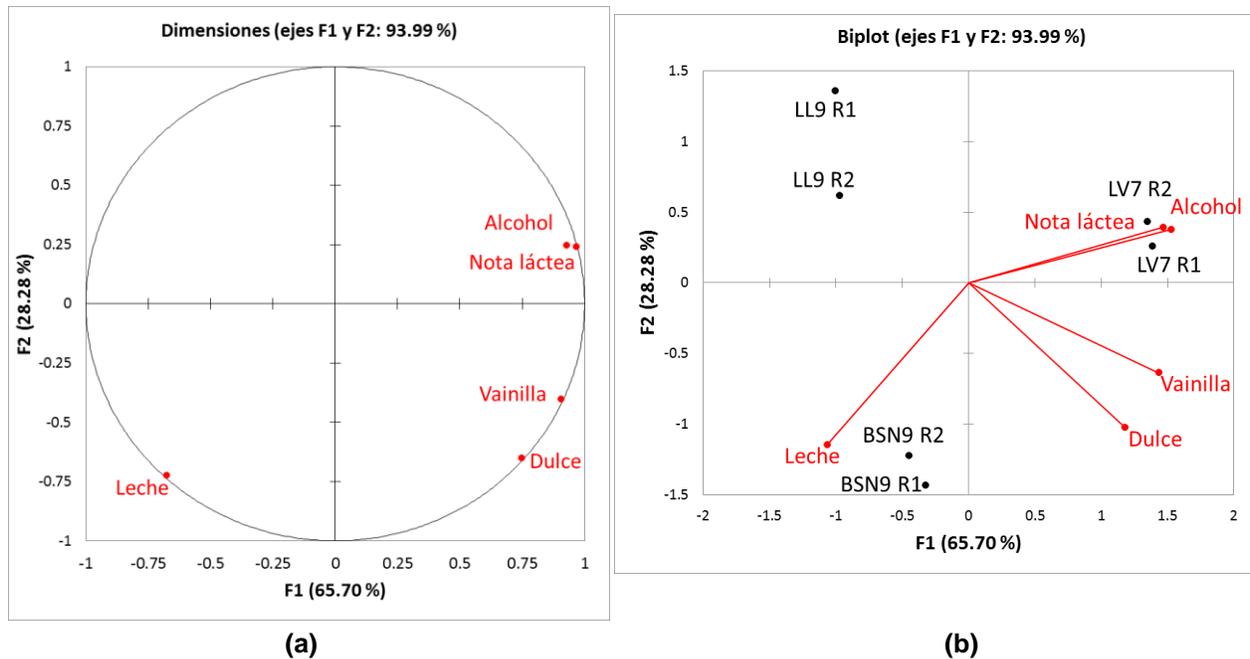
**Figura 28 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de aspecto para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de apariencia del ACP para LV7, LL9 y BSN9 se muestran en la *Figura 28a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 73.68% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 13.48%, entre ambos explican el 87.16%. Los atributos fueron burbujas, turbio, homogéneo, brillo, espeso, color y arenoso.

Un aspecto importante que se nota en la *Figura 28b*, es que las repeticiones fueron parecidas, porque las repeticiones de cada muestra se encuentran cercanas entre ellas. En ella se nota que la bebida LV7 tiene apariencia arenosa y con color (amarilla), LL9 una apariencia espesa, homogénea y brillante mientras que BSN9 presenta burbujas y es turbia.

El color amarillo de la matriz de LV7 no se ve afectado, pues se utilizó una baja cantidad de APG con respecto a la cantidad necesaria para conseguir la consistencia pudding. Por otro lado, la bebida BSN9 presentó burbujas debido a que para preparar las matrices se

requirió de elevada agitación; esto, aunado a la composición de la bebida de soya (alto contenido proteínico, *Tabla 8*) provoca la formación de dichas burbujas.

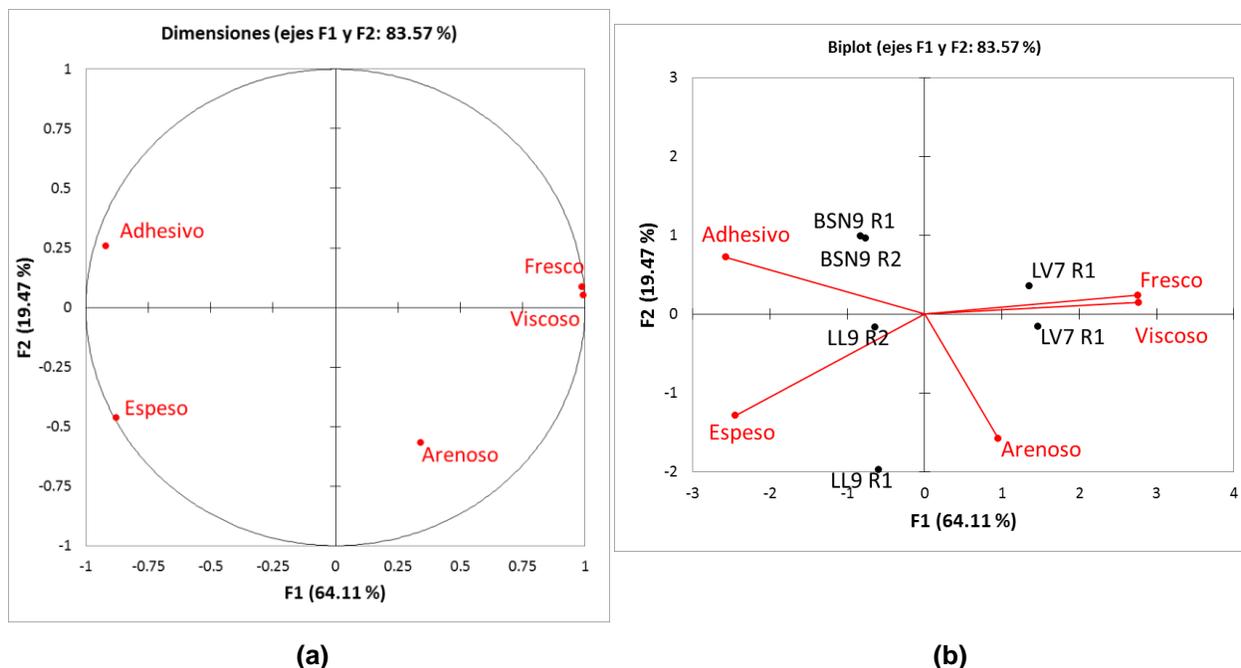


**Figura 29 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de olor del ACP para LV7, LL9 y BSN9 se muestran en la *Figura 29a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 65.70% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 28.28%, entre ambos explican el 93.99%. Los atributos que se encontraron fueron leche, alcohol, nota láctea, vainilla y dulce.

Por otra parte en la *Figura 29b* se nota que las repeticiones fueron parecidas entre sí, pues se encuentran próximas. En dicha figura se observa que la bebida modificada que presentó mayor cantidad de atributos fue LV7: alcohol, vainilla, dulce y nota láctea, los cuales se deben a la matriz empleada, el sabor a alcohol y a vainilla se debe al saborizante empleado en la matriz. Para el caso de BSN9 se nota un olor a leche, y para LL9 no hay un atributo que resulte notable para la descripción de dicha muestra.

Al igual que en el caso de BH7, el APG no generó nuevos aromas y no interfirió en la percepción de los aromas ya presentes en las matrices.

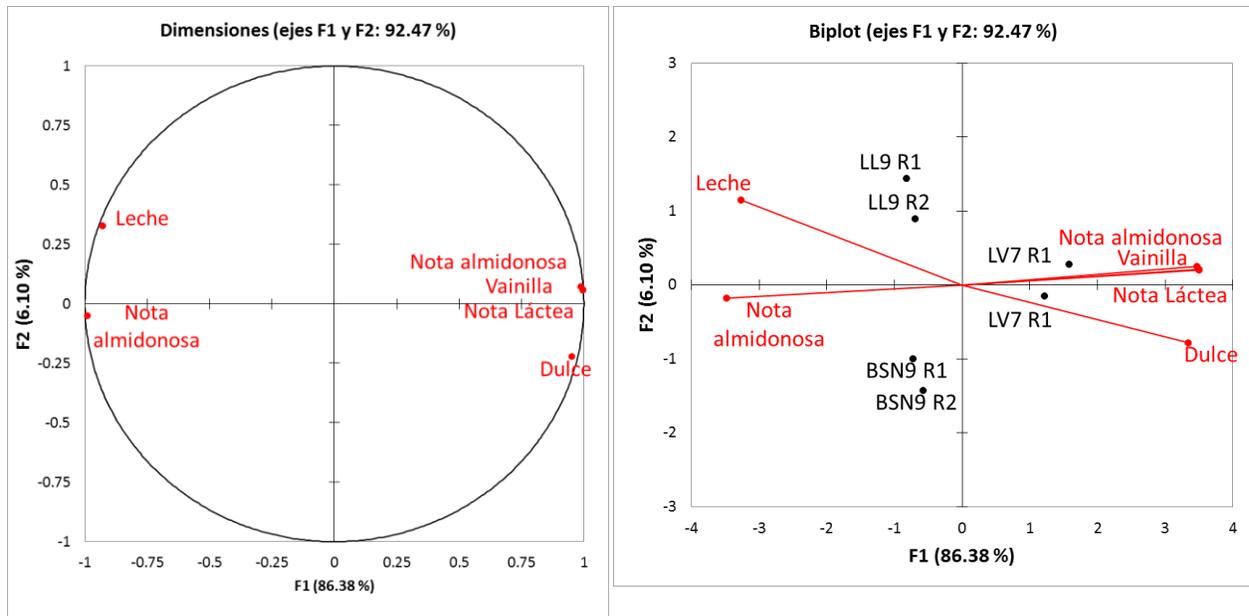


**Figura 30 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de textura del ACP para LV7, LL9 y BSN9 se muestran en la *Figura 30a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 64.11% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 19.47%, entre ambos explican el 83.57%. Los principales atributos fueron adhesivo, espeso, fresco, viscoso y arenoso.

En la *Figura 30b* se muestra que las repeticiones fueron similares para cada una de las bebidas. Para LV7 se tienen como atributos de textura: viscosa (propia de la bebida espesada) y fresca (debido a la leche saborizada). LL9 presentó una textura espesa debido a la mayor cantidad de APG utilizada para generar la consistencia deseada (*Anexo 2*), y BSN9 presenta una mayor adhesividad debido a la mayor cantidad de sólidos presentes en la bebida modificada.

Los atributos que son utilizados para describir cada bebida modificada son diferentes. LV7 al tener una consistencia tipo honey se le describe como viscosa; mientras, que para las bebidas con una consistencia más gruesa (tipo pudding) se emplean palabras como espeso y adhesivo, lo que marca una diferencia en la textura que se percibe para una bebida de consistencia honey y una consistencia tipo pudding.



(a)

(b)

**Figura 31 (a) Análisis de componentes principales para sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para LV7, LL9 y BSN9 con dos repeticiones**

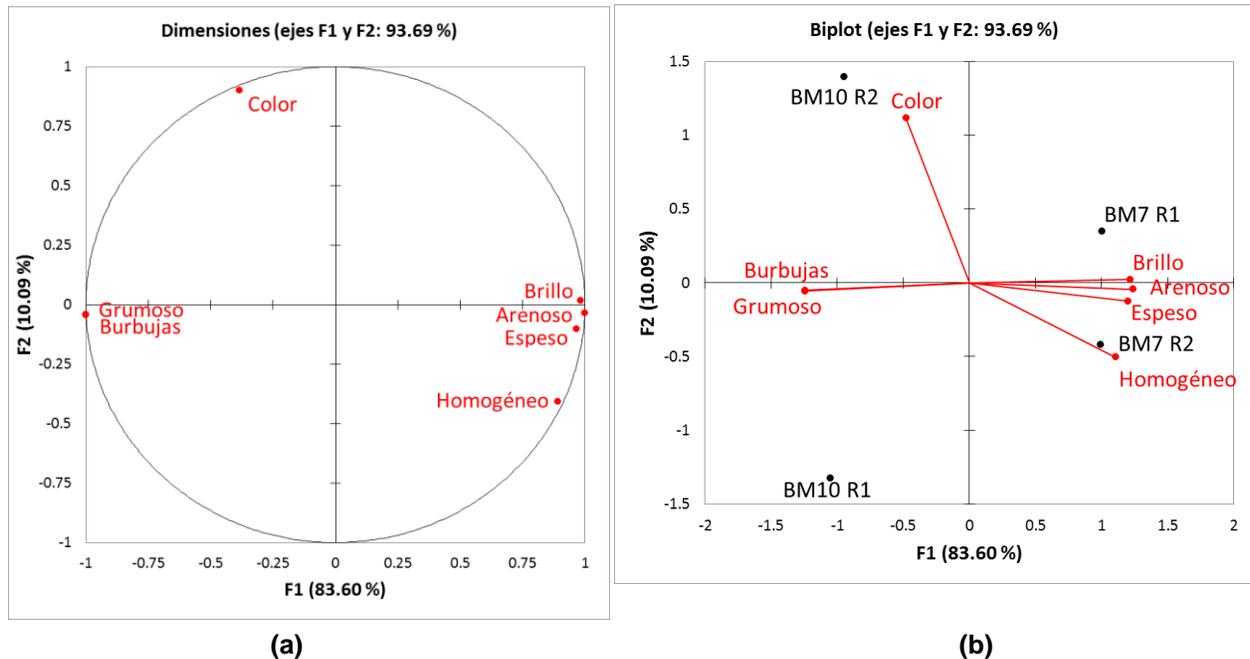
Los resultados de los datos de sabor del ACP para LV7, LL9 y BNS9 se muestran en la *Figura 31a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 86.38% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 6.10%, entre ambos explican el 92.47%. Los atributos que se en dicha figura se observan son sabor a leche, nota almidonosa, vainilla, nota láctea y dulce.

En la *Figura 31b* se muestran las repeticiones, las cuales fueron parecidas para cada muestra. Los sabores que se presentaron en LV7 fueron nota almidonosa, nota láctea, vainilla y dulce. Para LL9 el componente es el sabor a leche y BNS9 una nota almidonosa.

Para el caso de LV7 todos los sabores son debidos a la matriz alimenticia sin espesar, aunque también se percibe la presencia del espesante y el origen de este (almidón). En el caso de LL9 el sabor también se debe a la bebida sin espesar (leche lighth), mientras que BNS9, al tener 9% de concentración de APG, el principal sabor que se percibe es el de nota almidonosa, por lo que a esta concentración se opacan otros sabores presentes en la matriz.

### 3.4.3 Perfil Flash para matriz base bebida de manzana (Consistencia tipo honey y pudding)

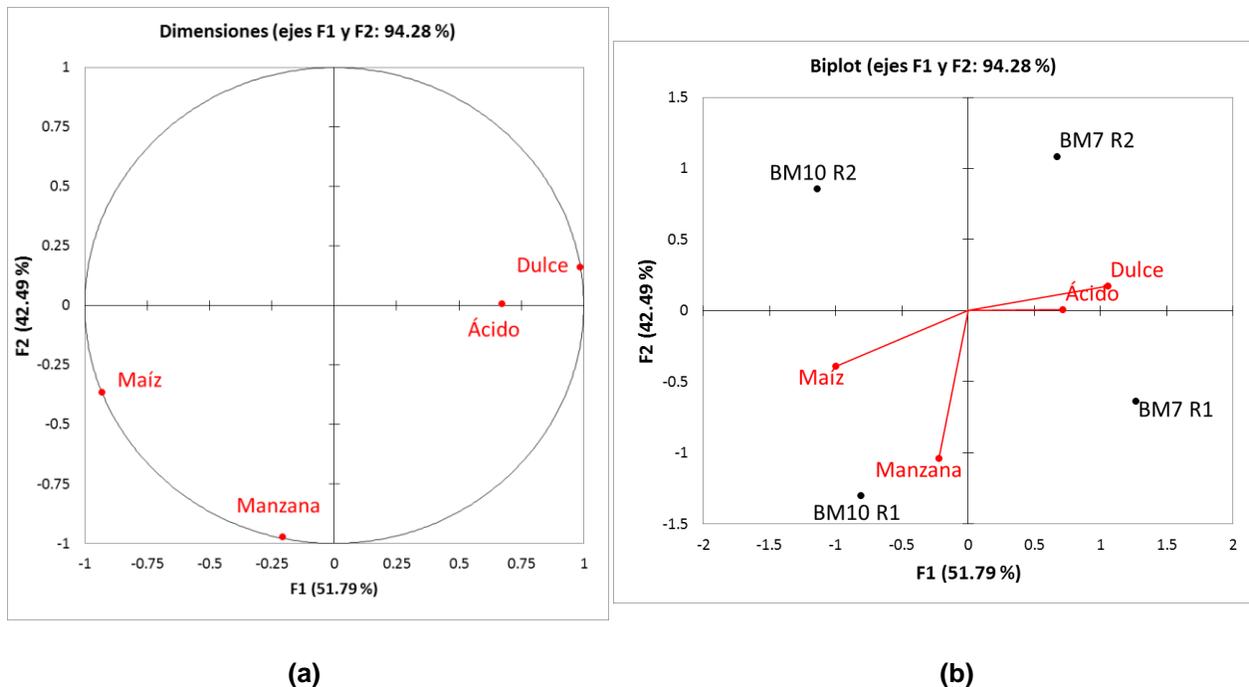
Para la bebida de manzana se generaron dos consistencias, tipo honey y tipo pudding, las cuales implican diferentes concentraciones de APG, 7 y 10 por ciento respectivamente, por lo cual se generaron atributos para cada bebida modificada.



**Figura 32 (a) Análisis de componentes principales de apariencia (b) Espacio sensorial de atributos de apariencia para BM7 y BM9**

Los resultados de los datos de apariencia del ACP para BM7 y BM10 se muestran en la *Figura 32a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 83.60% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 10.09%, entre ambos explican el 93.69%. Los principales atributos fueron color, grumoso, burbujas, brillo, arenoso, espeso y homogéneo.

En la *Figura 32b* se observa que ambas bebidas modificadas son diferentes. BM7 presenta una apariencia con brillo, homogeneidad, arenosa y espesa; BM10 presenta color, burbujas y grumoso. BM7 al tener menor cantidad de APG (7%), presenta brillo y una homogeneidad arenosa. Mientras que BM10 al tener una mayor concentración de APG (10%) se generan grumos y burbujas.

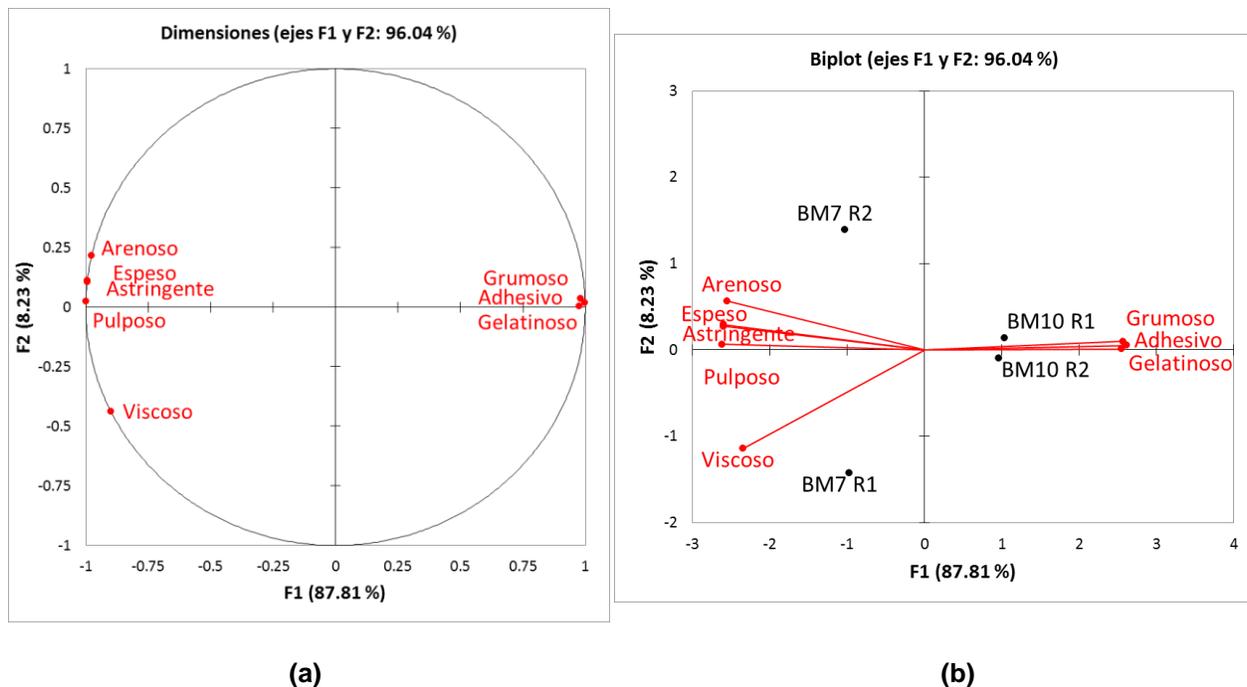


**Figura 33 (a) Análisis de componentes principales de olor (b) Espacio sensorial de atributos de olor para BM7 y BM9 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de olor del ACP para las bebidas modificadas BM7 y BM10 se muestran en la *Figura 33a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 51.79% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 42.49%, entre ambos explican el 94.28%. Los atributos fueron maíz, manzana, dulce y ácido.

En la *Figura 33b* se muestra que BM7 es diferente a BM9, las repeticiones fueron diferentes, lo que se puede deber a la falta de homogeneidad al evaluar las muestras. La bebida modificada BM7 presenta olor ácido y dulce, mientras que BM10, presenta olores a maíz y manzana, lo cual se explica por las diferentes concentraciones del espesante. La nota a maíz presente en BM10 se debe a la mayor concentración de APG y esta interfiere en el olor dulce y ácido presente en BM7.

Aunque en los casos anteriores (BH7, LV7, LL9, BSN9) no se notó algún olor que proviniera del espesante, en el caso de BM10 sí. Esto se debe a que BM10 tiene la concentración máxima que se empleó en este trabajo, por lo que una concentración de 10% modificó el olor de la matriz base.

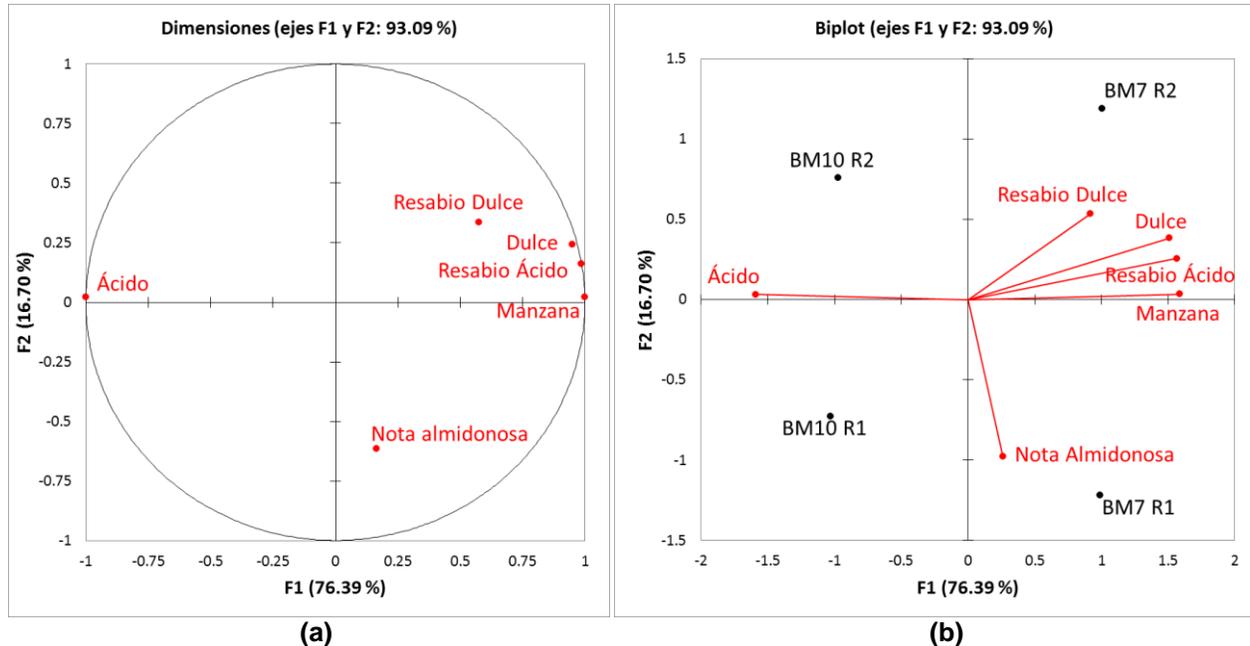


**Figura 34 (a) Análisis de componentes principales de textura (b) Espacio sensorial de atributos de textura para BM7 y BM10 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de textura del ACP para BM7 y BM10 se muestran en la *Figura 34a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 87.81% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 8.23%, entre ambos explican el 96.04%. Las texturas que se encontraron en las bebidas modificadas fueron arenoso, espeso, astringente, pulposo, viscoso, grumoso, adhesivo y gelatinoso.

En la *Figura 34b* se nota que las repeticiones fueron parecidas. En esta figura se nota que las texturas que presentó la bebida modificada BM7 fueron arenoso, espeso, astringente, pulposo y viscoso, a diferencia de BM10 donde las texturas fueron grumoso, adhesivo y gelatinoso. Todas estas texturas hacen referencia a bebidas espesadas, sin embargo se nota que al tener menor cantidad de APG (BM7) la textura de la matriz se percibió de una manera más fina (arenosa, pulposa). Además, el APG a bajas concentraciones le impartió astringencia a la bebida modificada, aunque si se aumenta dicha concentración este atributo es menos perceptible, lo cual coincide con lo encontrado por Matta, et al. (2006).

La bebida BM10 al tener una concentración más alta del espesante generó la formación de grumos, se formó una consistencia semisólida (gelatinoso) y tiene una mayor adhesividad.



**Figura 35 (a) Análisis de componentes principales de sabor (b) Espacio sensorial de atributos de sabor para BM7 y BM10 con dos repeticiones**

Los resultados de los datos de sabor del ACP para las BM7 y BM10 se muestran en la *Figura 35a*, en ella se observa que el componente 1 explica el 76.39% de variabilidad de los datos y el componente 2 el 16.70%, entre ambos explican el 93.09%. Los atributos fueron ácido, resabio dulce, dulce, resabio ácido, manzana y nota almidonosa.

En la *Figura 35b* se muestra que BM7 fue diferente a BM10; BM10 presentó sabor ácido, mientras que la bebida modificada BM7, presenta sabor dulce, manzana, nota almidonosa, así como un resabio dulce y ácido.

En la muestra BM7 se percibieron una cantidad mayor de sabores debido a que esta muestra tenía menor cantidad de APG, por lo cual no se opacaron los sabores propios de la matriz alimenticia, a diferencia de BM10 que presentó sabor ácido, principalmente. Cabe señalar que se esperaba una mayor presencia de la nota almidonosa en BM10, puesto que tiene un mayor contenido de espesante, lo cual no sucedió debido a la mayor presencia del sabor ácido.

En general, las bebidas modificadas presentaron turbidez, homogeneidad y se les apreció como espesas. En los atributos de olor no hubo modificación para concentraciones por debajo de 10% de APG, en BM10 se notó un aroma a maíz lo que hace referencia a la naturaleza del espesante.

Para los atributos de textura se observó una diferencia entre las bebidas con textura honey (BH7, LV7 y BM7) y las bebidas con textura pudding (LL9, BSN9 y BM10); mientras las primeras tuvieron como descriptores viscoso, arenoso y pulposo, las segundas presentaron atributos como adhesivo, espeso y grumoso.

Los atributos de sabor que se presentaron en cada una de las bebidas modificadas provenían de la matriz de origen; sin embargo, en todas las matrices modificadas se tuvo una nota almidonosa debido al APG.

Con el APG se generaron bebidas modificadas seguras (sección 3.2 y 3.3), pero al espesar las bebidas, los atributos de las matrices originales cambiaron, siendo los atributos de textura, sabor y apariencia los principales.

A pesar de todo lo anterior, no se tiene conocimiento del nivel de agrado de las bebidas modificadas, por lo que se evaluó el nivel de agrado y preferencia.

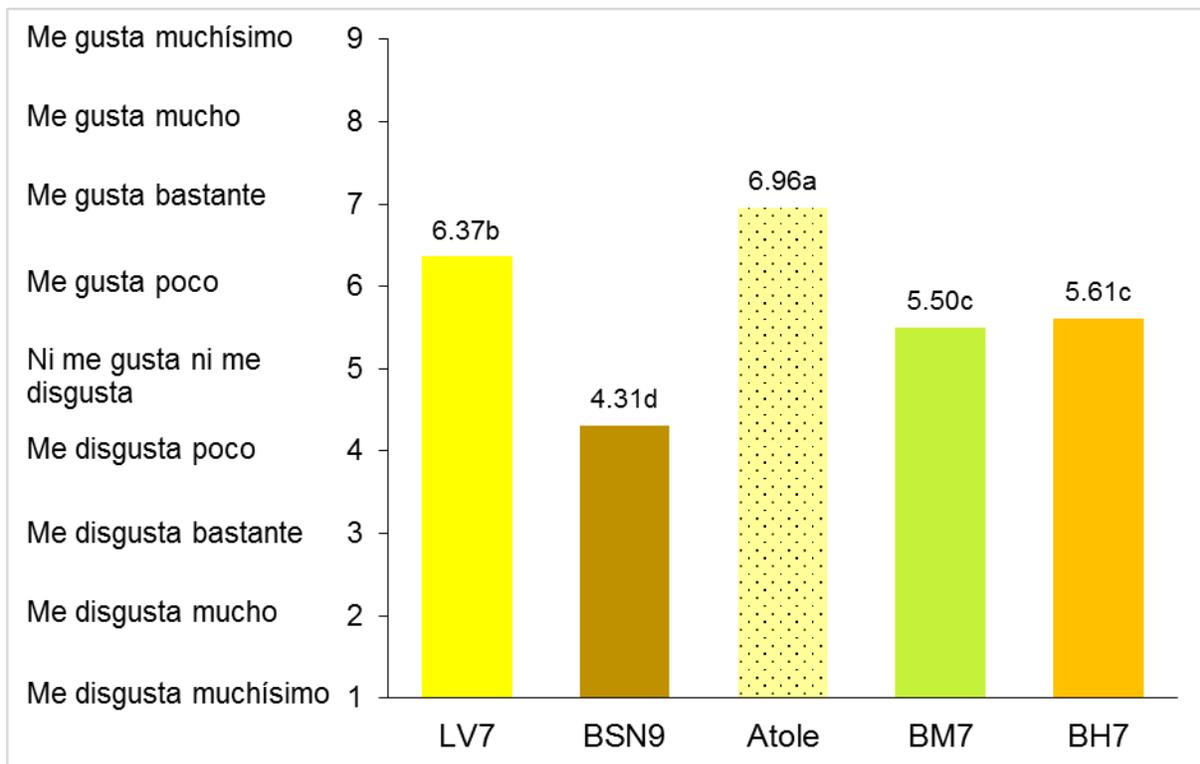
### **3.5 Nivel de agrado de las matrices modificadas**

El nivel de agrado de las matrices modificadas se realizó en dos sesiones, la primera se llevó a cabo en el anexo del Laboratorio de Evaluación Sensorial 4-D de la Facultad de Química, donde se evaluaron las bebidas base proteína y una bebida con la que el juez está familiarizado, atole con consistencia honey (Soto, 2015); la segunda sesión se realizó en las instalaciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, (CCADET). En ambas situaciones se realizó la evaluación con 103 consumidores entre 19 y 65 años, se usó una escala hedónica de 9 puntos, con la que se evaluaron la apariencia, el olor, el sabor, la textura y el agrado general.

El análisis de varianza para cada uno de los aspectos evaluados se encuentra en el Anexo 5.

### 3.5.1 Nivel de agrado para apariencia

En la *Figura 36* se presentan los promedios del nivel de agrado para las diversas matrices modificadas que se evaluaron. En dicha figura se pueden notar que la bebida con mayor calificación fue el atole, calificado cerca de *me gusta bastante*, le sigue LV7 con *me gusta poco*, posteriormente las bebidas BH7 y BM7 entre *me gusta poco* y *ni me gusta ni me disgusta* (entre los cuales no hubo diferencia significativa), y por último quedó la bebida BSN9 con una calificación de *me disgusta poco*.

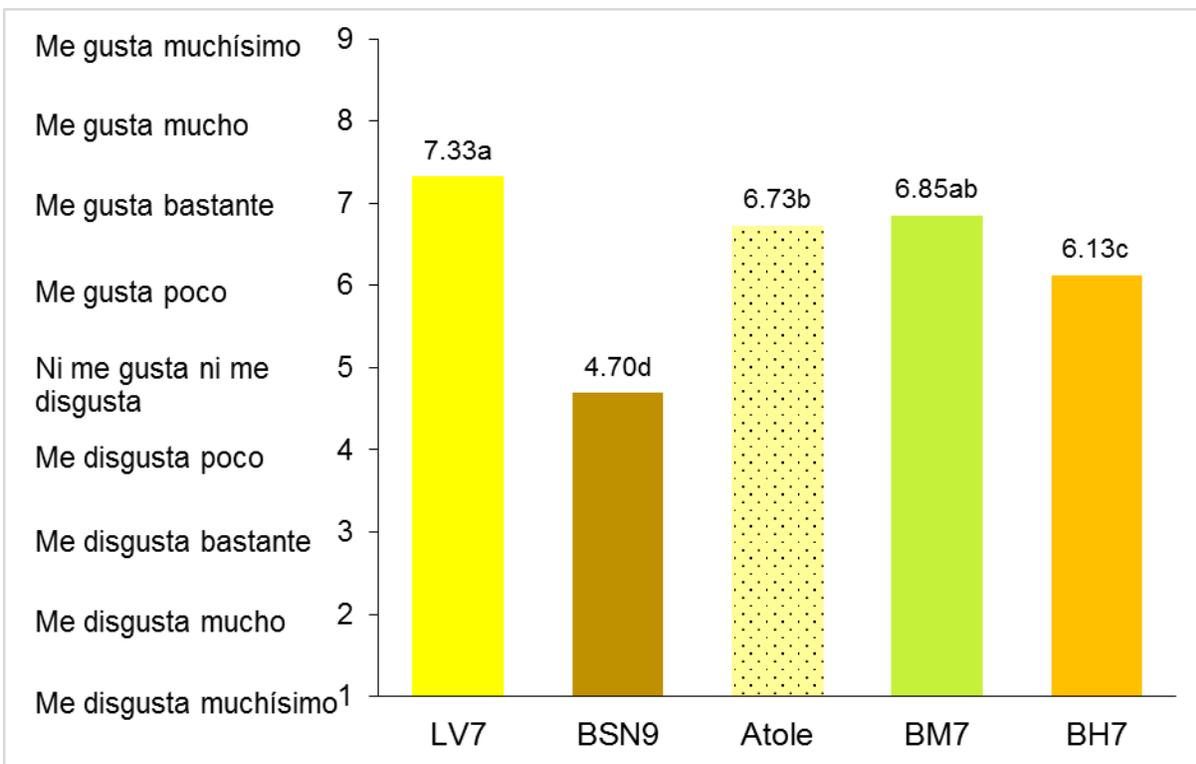


**Figura 36 Nivel de agrado para apariencia de las bebidas modificadas**

Lo que se aprecia es que los consumidores encontraron más agradable la bebida con la que están familiarizados. Otro aspecto que se observó es que las bebidas con consistencia honey tuvieron en general mayor calificación que la bebida con consistencia pudding, lo que se puede deber a la cantidad de APG o por el color café de la matriz empleada, pues Soto, (2015) encontró que una bebida oscura espesada disgustó poco.

### 3.5.2 Nivel de agrado para olor

En la *Figura 37* se encuentran los resultados del nivel de agrado para el olor, donde la bebida que obtuvo la mayor calificación fue LV7 con un *me gusta bastante*, pues según el perfil flash de esta bebida tenía olores como dulce, vainilla y nota láctea. En segundo lugar se posicionó BM7, que no mostró diferencia significativa con respecto a LV7, cerca de un *me gusta bastante*. A continuación se encontró el atole que no tuvo diferencia significativa con BM7, cerca de *me gusta bastante*; en penúltimo lugar se encontró la bebida hidratante (*me gusta poco*), y por último, se encontró BSN9, por debajo de *ni me gusta ni me disgusta*.

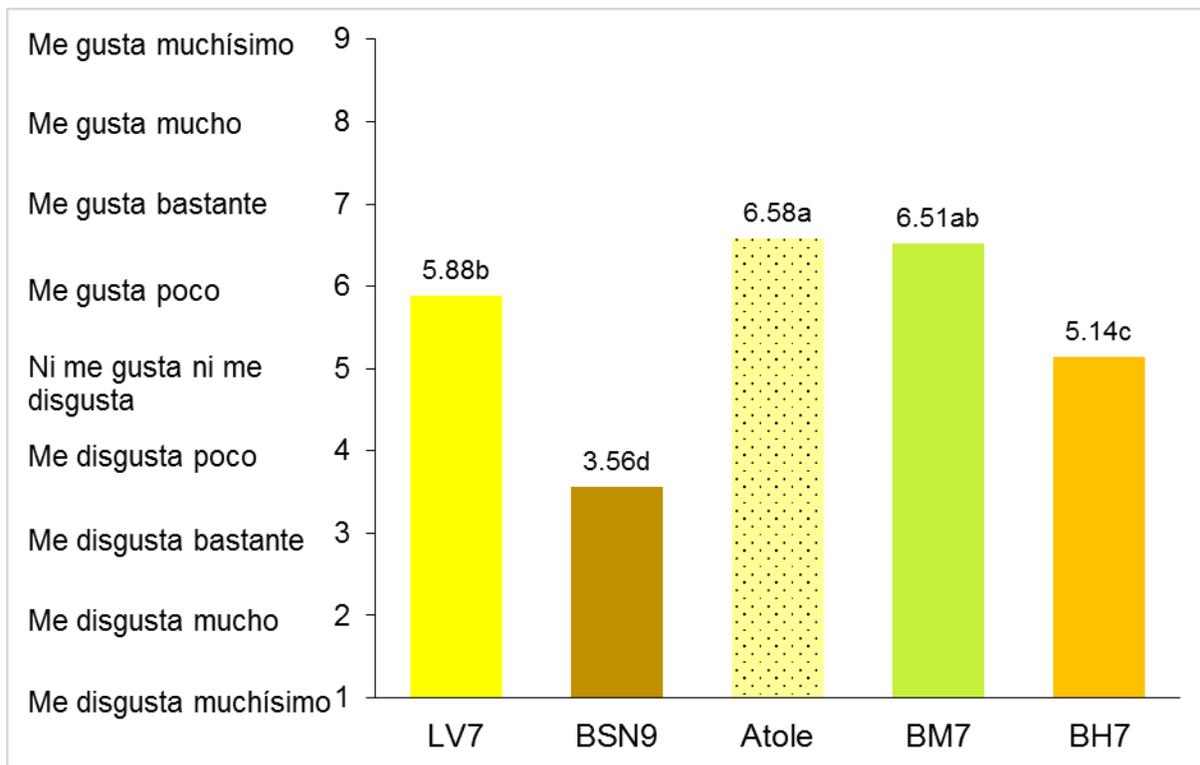


**Figura 37 Nivel de agrado para olor de las bebidas modificadas**

En todas las bebidas modificadas, con excepción de BSN9, se calificaron por arriba de *me gusta poco*, pues como ya se había discutido anteriormente, en estas concentraciones no se generaban nuevos olores que pudieran alterar el agrado de la bebida. No obstante en este atributo se encontró, otra vez, a la bebida BSN9 con la calificación más baja, lo que podría estar relacionado con la mayor cantidad de APG utilizada.

### 3.5.3 Nivel de agrado para sabor

En la *Figura 38* se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de las bebidas en el nivel de agrado del sabor. La bebida con mayor calificación fue el atole con consistencia honey, el cual estuvo por debajo de *me gusta bastante*, le sigue BM7 entre *me gusta bastante* y *me gusta poco*, detrás sigue LV7 cerca de *me gusta poco*, BH7 con calificación *ni me gusta ni me disgusta*; por último se encuentra BSN9 que obtuvo una calificación entre *me disgusta poco* y *me disgusta bastante*.

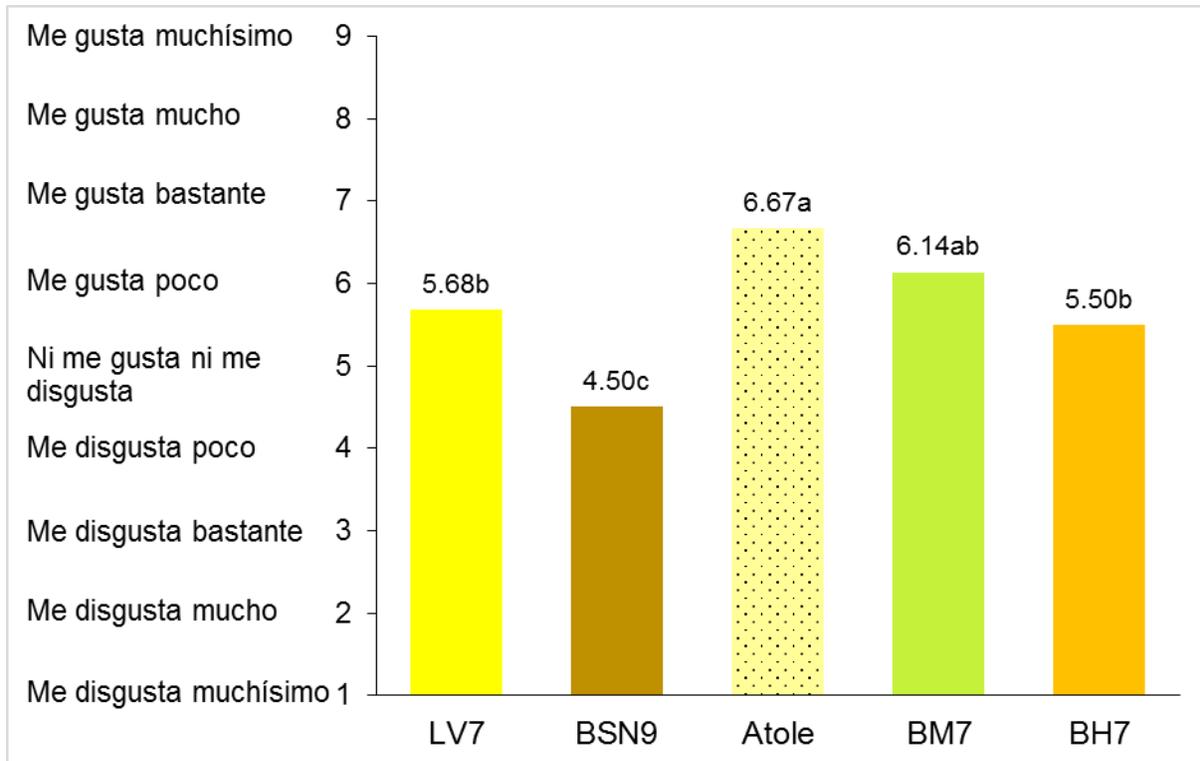


**Figura 38 Nivel de agrado para sabor de las bebidas modificadas**

Lo que refleja esta evaluación es que a los consumidores les gustan los sabores a vainilla (atole y LV7) y frutales, como manzana y naranja, (BM7 y BH7), mientras que en la bebida BSN9 el principal sabor que se detecta es la nota almidonosa (*Figura 31*), la cual el consumidor no encontró agradable. Esto se debe a que la población mexicana está familiarizada con este tipo de frutas (Severiano, et al., 2012), mientras que el sabor a vainilla es uno de los más consumidos en México.

### 3.5.4 Nivel de agrado para textura

En la *Figura 39* se muestran los resultados de la evaluación de los consumidores. El atole vuelve a presentarse en primer lugar con una evaluación cerca de *me gusta bastante*, seguido de BM7 y LV7 con *me gusta poco* y BH7 entre *me gusta poco* y *ni me gusta ni me disgusta*; por último, el peor calificado fue BSN9 entre *ni me gusta ni me disgusta* y *me disgusta poco*.

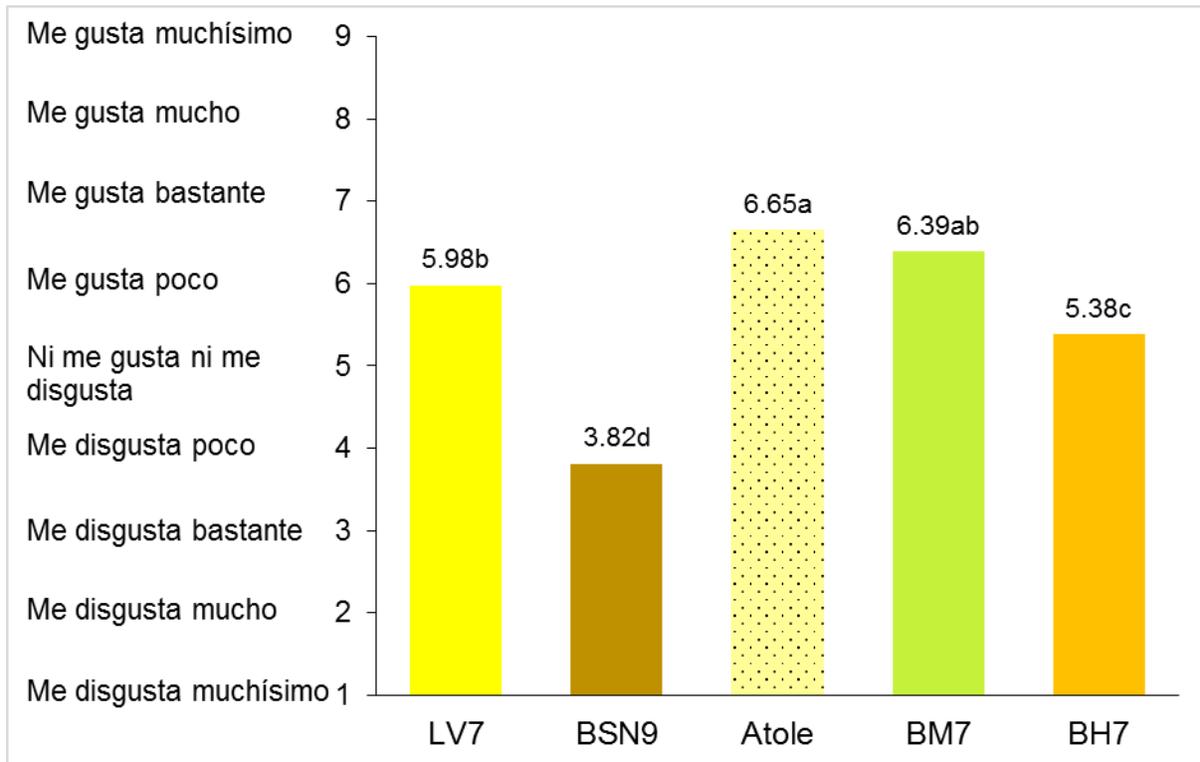


**Figura 39 Nivel de agrado para textura de las bebidas modificadas**

Las consistencias honey fueron mejor evaluadas, aunque obtuvieron calificaciones entre 7 y 5, de una escala de 9 puntos. La textura pudding de BSN9 no fue del agrado de los consumidores, lo cual coincide con Zargaraan , *et al.*, (2013), quien dice que las bebidas más espesas no son del agrado de las personas y suelen ser rechazadas.

### 3.5.5 Nivel de agrado general

La *Figura 40* muestra la evaluación del nivel de agrado para las bebidas modificadas y el atole. La muestra mejor evaluada fue el atole con un promedio de calificación de 6.65, seguido de BM7 con 6.39, en tercer lugar LV7 con 5.98, BH7 con 5.38 y por último BSN9 con promedio de 3.82, lo que significa que fue evaluada por debajo de *me disgusta poco*.



**Figura 40 Nivel de agrado general para las bebidas modificadas**

La evaluación general muestra un mayor nivel de agrado para las bebidas con las que hay familiaridad (atole, sabor a vainilla y frutales) y una textura más suave, como lo es la honey (en comparación con la consistencia pudding). Además, cabe señalar que las bebidas con menor cantidad de APG presentaron brillo, apariencia arenosa y homogénea, en contraste con BSN9 que presentó turbidez y burbujas.

### 3.5.6 Porcentaje de frecuencia de las calificaciones

Como ya se examinó en las secciones anteriores, el promedio de las calificaciones no sobrepasó más de 7 (*me gusta bastante*), aunque esto es el compendio de las 103 evaluaciones que se realizaron.

En el Anexo 5, parte 2, se muestran tablas con el porcentaje de la frecuencia con las que las bebidas fueron calificadas con los diferentes niveles. Además se muestra la suma de las 4 calificaciones más altas (6, 7, 8 y 9), con lo cual se puede tener idea de la distribución de las calificaciones para cada bebida.

En la *Tabla 40* (apariencia) se nota que el atole acumula 86.41% en las calificaciones más altas, seguido de LV7 que acumula 70.87%, mientras que BM7 y BH7 acumulan cerca del 50% cada una, BSN9 no logró sumar ni el 30%, lo que refleja su bajo nivel de agrado.

En la *Tabla 41* (olor) se observa que la bebida que acumula mayor porcentaje es BM7 con 86.41% en las calificaciones más altas, seguido de LV7 con 85.44%; aunque la primera acumuló un mayor porcentaje, la calificación que fue mayoría es *me gusta bastante*, mientras la segunda tiene una mayor frecuencia en *me gusta mucho*. En tercer lugar está el atole, en penúltimo lugar BH7, ambas por arriba del 60%, mientras que BSN9 no alcanza ni el 20%.

En las *Tabla 42* y *Tabla 43*, que corresponden al sabor y textura respectivamente, se mantiene la misma tendencia, con la excepción del sabor de BM7 que tuvo 86.41%. El atole obtuvo los mejores porcentajes en sabor y textura, seguido de BM7 y LV7 con la suma de los porcentajes por arriba de 60%. BH7 obtuvo alrededor del 50% mientras que BSN9 consiguió 22.33% para sabor y 35.92% para textura, con lo cual se vuelve a rectificar su bajo nivel de agrado.

En la *Tabla 44* (agrado general) se nota que más del 60 por ciento de las calificaciones de los jueces para LV7, atole y BM7 se encuentran en *me gusta poco* y *me gusta muchísimo* (6-9 de calificación). Para el caso de BH7 se alcanzó el 53 por ciento en las mismas categorías, mientras que para BSN9 apenas se alcanzó el 18.45 por ciento.

Con todo lo anterior se puede advertir que la mayoría de los consumidores, es decir, más del 60%, consideró las bebidas LV7, atole (consistencia honey) y BM7 con un nivel de agrado positivo, entre *me gusta poco* y *me gusta muchísimo* para las diversas categorías evaluadas. Para el caso de BH7 logró acumular, en todas las categorías, alrededor del

50%, mientras la bebida que presentó menor porcentaje en fue BSN9, alcanzando como máximo el 35 por ciento.

### 3.5.7 Efecto de la edad en el nivel de agrado

Es bien sabido que la percepción de los órganos es afectada con la edad, además también se afecta la familiaridad de aromas (Severiano, et al., 2012, 2014). Por lo anterior se decidió seleccionar los evaluadores que tuvieran más de 40 años, teniendo en cuenta también que las personas que tienden a desarrollar disfagia suele ser personas mayores de 60 años.

En la evaluación que se llevó a cabo en la Facultad de Química (bebidas LV7, BSN9 y atole) se tuvo un promedio de edad de 22 años, mientras que la evaluación que se realizó en las instalaciones de CCADET (BM7 y BH7) tuvo una media de edad de 32 años, lo cual significa una diferencia de 10 años.

Una vez seleccionadas los consumidores, con el filtro de edad se obtuvieron los promedios de las calificaciones. Con este filtro se tuvieron 3 evaluaciones para LV7, BSN9 y atole, y 18 evaluaciones para BM7 y BH7.

Tabla 15 Promedios de las evaluaciones obtenidas sin filtro y con filtro de edad

	Edad promedio	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
Apariencia	22/32	6.37	4.31	6.96	5.50	5.61
	>40	7.33	6.33	7.00	5.89	5.78
Olor	22/32	7.33	4.70	6.73	6.85	6.13
	>40	7.33	5.67	7.00	6.67	6.28
Sabor	22/32	5.88	3.56	6.58	6.51	5.14
	>40	7.00	4.67	6.67	6.72	5.67
Textura	22/32	5.68	4.50	6.67	6.14	5.50
	>40	7.00	6.33	7.33	6.72	5.78
Agrado General	22/32	5.98	3.82	6.65	6.39	5.38
	>40	7.67	6.00	7.00	6.61	5.83

En la *Tabla 15* se encuentran los promedios de la calificación considerando a todos los evaluadores y considerando sólo a los mayores de 40 años. Lo que se observa es que el promedio de las evaluaciones mejoró, en algunos casos hasta más de dos puntos, con excepción del olor de BM7 el cual disminuyó en 0.2 puntos.

Esto demuestra que es importante considerar la edad de los consumidores, para realizar estas evaluaciones pues solo se obtuvo un promedio por debajo de 5 (*ni me gusta ni me disgusta*) en el sabor de BSN9, considerando a personas mayores de 40 años. En cuanto a la textura, un aspecto importante de las bebidas, las bebidas con consistencia honey obtuvieron calificaciones cerca de 7 (*me gusta bastante*) con excepción de BH7 que estuvo cerca de *me gusta poco*. La consistencia pudding alcanzó una calificación por arriba de *me gusta poco*, lo cual al considerar a todos los consumidores estuvo por debajo de *me disgusta poco*.

Aunque el número de evaluadores no es alto, estos datos dan pie a pensar que es importante considerar evaluadores con restricciones de edad, pues en general este tipo de bebidas va dirigida para gente mayor, quienes tienen diferentes gustos y nivel de agrado para una misma muestra con respecto a personas jóvenes.

### 3.6 Orden de preferencia

Como se mencionó anteriormente, en general las bebidas tuvieron calificaciones positivas, por arriba de 5. Sin embargo, es importante saber el orden de preferencia de las bebidas modificadas. Para ello se realizó una prueba de orden de preferencia en la que se forzó la decisión y no se admitieron empates, donde la posición 5 es el primer lugar y 1 el último lugar.

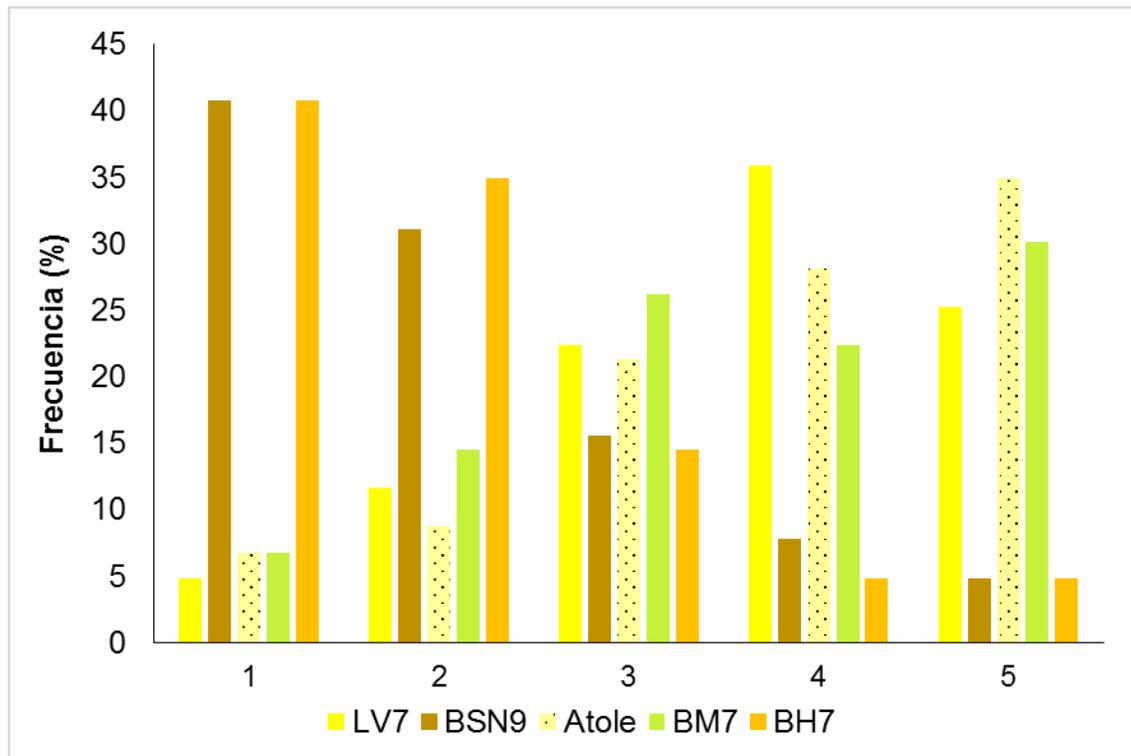
Tabla 16 Análisis estadístico para el orden de preferencia

Multiple pairwise comparisons using Nemenyi's procedure / Two-tailed test:					
Sample	Frequency	Sum of ranks	Mean of ranks	Groups	
BH7	103	204.0000	1.9854	A	
BSN9	103	211.0000	2.0534	A	
BM7	103	365.0000	3.5437		B
LV7	103	376.0000	3.6553		B
Atole	103	387.0000	3.7621		B

\*\*Test Friedman obtenido con xlstat

Con el análisis estadístico (*Tabla 16*) se determinó si existía diferencia significativa para el ordenamiento de las muestras, en el cual se encontró que para LV7, atole y BM7 no hubo diferencia significativa, es decir los consumidores prefirieron a estas bebidas de

igual manera. Por otra parte, para BH7 y BSN9 se tuvo un segundo grupo, el cual fue de menor preferencia para los evaluadores.



**Figura 41 Porcentaje de frecuencia para el ordenamiento de las bebidas modificadas**

Lo anterior indica que los consumidores prefirieron las consistencias suaves como honey. Aunque la bebida BH7 tiene una consistencia tipo honey, no fue una bebida preferida por los consumidores debido al sabor, que según el nivel de agrado fue el aspecto con menor calificación. La bebida BSN9 tuvo la misma tendencia en el nivel de agrado al ser poco preferida.

**Tabla 17 Porcentaje de frecuencia para el ordenamiento de las bebidas modificadas**

	1	2	3	4	5
LV7	4.85	11.65	22.33	35.92	25.24
BSN9	40.78	31.07	15.53	7.77	4.85
Atole	6.80	8.74	21.36	28.16	34.95
BM7	6.80	14.56	26.21	22.33	30.10
BH7	40.78	34.95	14.56	4.85	4.85

Aunque en el análisis estadístico no se encontró diferencia significativa para las bebidas modificadas LV7, BM7 y el atole, cabe señalar que en la *Tabla 17* se observa un mayor porcentaje de frecuencia (34.95%) para el atole como el más preferido (es decir puesto 5), seguido de BM7 y LV7 con 30.10% y 25.24%. Por otra parte para BH7 y BSN9 se tuvo una distribución similar (4.85%).

Los resultados obtenidos en esta prueba se relacionan con la prueba de nivel de agrado, pues en agrado general se obtuvo una tendencia similar. En primer lugar el atole, seguido de la BM7, y en tercer lugar LV7; aunque la tendencia cambio con BH7 y BSN9, pues en preferencia no hubo diferencia significativa y además una distribución similar.

### 3.7 Correlación de los estudios reológicos y la evaluación sensorial

Si bien se ha analizado cada aspecto (reológico y sensorial) por separado, es importante examinar la relación que tienen ambos. Por lo cual en la *Tabla 18* se presenta un resumen de los parámetros evaluados en este trabajo.

Tabla 18 Parámetros reológicos, nivel de agrado y preferencia de las bebidas modificadas

Bebida	Consistencia	Viscosidad (50 s <sup>-1</sup> )	k	n	Agrado apariencia	Agrado textura	Agrado general	Preferencia
BH7	Honey	1.10	29.21	0.16	5.61	5.50	5.38	B
BM7		1.30	31.12	0.19	5.50	6.14	6.39	A
LV7		0.79	18.19	0.20	6.37	5.68	5.98	A
BSN9	Pudding	2.91	66.80	0.20	4.31	4.50	3.82	B

*Nivel de preferencia alto (a), nivel de preferencia bajo (b)*

Para el caso de BH7 se obtuvo un comportamiento reofluidizante y parámetros de consistencia honey. La utilización de un 7% de concentración de APG para alcanzar esta consistencia provocó cambios en la matriz alimenticia como turbidez, arenosidad, texturas como astringencia, película en lengua y viscoso, además de que también le impartió una nota almidonosa. En la evaluación del nivel de agrado se calificó apenas por arriba de *ni me gusta ni me disgusta* en apariencia, textura y general. Por último para el ordenamiento de preferencia de los jueces fue bajo.

La bebida BM7 presentó un comportamiento reofluidizante, con el índice de consistencia y la  $\eta_{a,50}$  más alta para las bebidas con consistencia honey. El APG generó cambios en

la apariencia como arenosidad y un aspecto espeso, para los atributos de textura se encontró los atributos astringente, arenoso, pulposo y viscoso, y la naturaleza del espesante le confirió una nota almidonosa. En la prueba de nivel de agrado solo la apariencia se calificó por debajo de *me gusta poco*, mientras que su preferencia fue alta.

La bebida LV7 exhibió comportamiento refluidizante, presentado el índice de consistencia y la  $\eta_{a,50}$  más baja de las bebidas modificadas. Los principales atributos que mostró la bebida modificada fue una apariencia arenosa y espesa, con texturas viscosa y arenosa, con la nota almidonosa presente en todas las bebidas. Al tener tan pocos cambios, generó un nivel de agrado alto, teniendo una calificación en general de *me gusta poco*. En cuanto a la preferencia, esta bebida se colocó en los principales gustos de los evaluadores.

Por ultimo BSN9, con consistencia tipo pudding, tuvo comportamiento refluidizante, al igual que los otros casos, pero presentó el índice de consistencia más elevado de las bebidas que se presentan en esta sección. Para incorporar al almidón necesario para alcanzar la concentración de 9 por ciento de APG es necesaria una agitación vigorosa, lo que provocó burbujas. Además, el espesante le generó turbidez, la textura predominante fue adhesividad y el principal sabor de esta bebida fue la nota almidonosa. Estos fueron aspectos negativos que se vieron reflejados en el nivel de agrado de la bebida y de su preferencia. De esta manera, aparentemente, las consistencias tipo pudding no son recomendables con este espesante. De acuerdo a lo anterior se sugiere que se utilicen concentraciones por debajo de 9 por ciento, para que las características de las bebidas no sean fuertemente modificadas y esto se vea reflejado en el nivel de agrado y su preferencia.

## Conclusiones

La utilización de APG como alternativa para el tratamiento de personas con disfagia orofaríngea es viable, pues genera bebidas con las características reológicas adecuadas y con características sensoriales aceptables; sin embargo, su aplicación tiene limitaciones, pues concentraciones por arriba de 9% no son agradables para el consumidor.

Tomando en cuenta los parámetros reológicos de los fluidos de contraste Varibar®, se encontró que la concentración necesaria para generar consistencia de tipo honey fue de 7%, mientras que las concentraciones requeridas para conseguir una consistencia tipo pudding fueron de 9% y 10%.

El comportamiento reológico en corte y extensión (altas velocidades de elongación) de las bebidas modificadas fue no newtoniano y de fluidos reofluidizantes.

Las bebidas modificadas fueron cohesivas y homogéneas, siendo el módulo elástico el predominante.

El APG cambió algunos atributos de apariencia, sabor y textura de las matrices alimenticias. Los principales fueron la apariencia (arenosa, turbia, espesa), el sabor (nota almidonosa), textura (viscosa, adhesivo, astringencia), y el olor (en el caso de BM10).

El cambio de los atributos en las bebidas modificadas se reflejó en el nivel de agrado, pues a las bebidas con menor cantidad de APG se les consideró en general como *me gusta poco*, mientras que para la bebida con consistencia pudding (BSN9) se obtuvo una calificación por debajo de *me disgusta poco*.

En general, las bebidas tuvieron una calificación positiva (por arriba del 5 en la escala hedónica) con excepción de la bebida elaborada con soya (BSN9). Los consumidores prefirieron bebidas más suaves (consistencias *honey*), y con sabores familiares (como vainilla y manzana), mientras que las bebidas con las que se está poco familiarizado (bebida hidratante y de soya) generaron baja preferencia.

Es recomendable realizar la evaluación de éstas bebidas modificadas para un nicho de evaluadores más específico (mayor a 60 años), pues la edad tiene una influencia positiva en el nivel de agrado.

## Referencias

- Aguiar, B., 2012. *Manejo de la disfagia en pacientes vasculares*. Montevideo: s.n.
- American Dietetic Association , 2002. *Nacionatl Dysphagia Diet: Standardization for Optimal Care*, Ohio: s.n.
- Ascanio, G. y otros, 2015. *Manual de ensamblaje y operación: Reómetro de orificio de bomba de lóbulos*. Distrito Federal: UNAM.
- Badui, S., 2013. *Química de los alimentos*. Quinta ed. México: Pearson.
- Barnes, H. A., 2000. *A Handbook of elementary rheology*. Wales: Cambrian Printers.
- Barroso, L. y otros, 2012. *Guía de Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales y Equidad & IMSERSO..* [En línea]  
Available at:  
[http://www.imserso.es/InterPresent1/groups/imserso/documents/binario/600077\\_guia\\_nutricion\\_disfagia.pdf](http://www.imserso.es/InterPresent1/groups/imserso/documents/binario/600077_guia_nutricion_disfagia.pdf)  
[Último acceso: 23 08 2016].
- BeMiller, J. N. & Huber, K. C., 2015. Physical Modification of food Starch Functionalities. *Annual Review of Science and Technology*, Volumen 6, pp. 19-69.
- Berber, O. & Joshi, J., 2010. Dysphagia. *British Journal of Hospital Medicine*, Volumen 71, pp. M61-M63.
- Berlitz, H. & Grosch, W., 1997. *Química de los alimentos*. Segunda ed. Zaragoza: Acribia, S.A..
- Bertoft, E. y otros, 2015. Part I Structure. En: *Starch Metabolism and Structure*. Japón: Springer, pp. 3-92.
- Brito-de la Fuente, E. y otros, 2012. Design of a New Spoon-thick Consistency Oral Nutrition Supplement Using Rheological Similarity with a Swallow Barium Test Feed. *Applied Rheology*, Volumen 22, p. 53365.
- Brito, E., Ekberg, O. & Gallegos, C., 2012. Rheological Aspects of Swallowing and Dysphagia. En: O. Ekberg, ed. *Dysphagia Diagnosis and Treatment*. Berlin: Springer, pp. 493-506.
- Clavé, P. y otros, 2006. The effect of bolus viscosity on swallowing function in neurogenic dysphagia. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, Issue 24, pp. 1385-1394.

Clavé, P., Verdaguer, A. & V., A., 2004. Approaching oropharyngeal dysphagia. *Revista Española de Enfermedades*, 96(2), p. 119–131.

Dairou, J. & Sieffermann, J., 2002. A Comparison of 14 Jams Characterized by Conventional Profile and a Quick Original Method, the Flash Profile. *Journal of Food Science*, 67(2), pp. 826-834.

Dewan, D. V., 2015. Radiological Diagnosis in Swallowing Disorders. En: *Swallowing – Physiology, Disorders, Diagnosis and Therapy*. New York: Springer, pp. 93-126.

Dijksterhuis, G., 1996. *Procrustes Analysis in Sensory Research*. s.l.:Elsevier Science.

Din, Z.-u.-., Xiong, H. & Fei, P., 2015. Physical and Chemical modification of starches - A review. *Critical Reviews in food and nutrition*, pp. 1-66.

French, D., 1973. Chemical and Physical Properties of Starch. *JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE*, 37(4), pp. 1048-1061.

Fresno, M. C., Ángel, P., Cisternas, P. & Muñoz, A., 2011. Grado de acidez y potencial erosivo de las bebidas deportivas isotónicas disponibles en Chile.. *Revista Dental de Chile*, 102(3), pp. 13-16.

Gallegos, C. y otros, 2012. Rheology and Dysphagia: An Overview. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, Volumen 20, pp. 3-10.

Gama, A. C. & Bozín, P. A., 2011. Disfagia. En: *Manual del residente en Geriatría*. Madrid: Ene Life Publicidad S.A. y Editores, pp. 117-123.

González, S., 2009. Cartagena: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA .

Hadde, E., N. T., Cichero, J. & C., D., 2015. Rheological characterisation of thickened milk components (protein, lactose and minerals). *Journal of Food Engineering*, Issue 166, p. 263–267.

Haghighayegh, G. & Schoenlechner, R., 2011. Physically modified starches: A review. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(1), pp. 27-29.

Han, Z., Zeng, X.-a., Zhang, B.-s. & Yu, S.-j., 2009. Effects of pulsed electric fields (PEF) treatment on the properties of corn starch. *Journal of Food Engineering*, Volumen 93, pp. 318-323.

Hedayati, S. y otros, 2016. Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on physicochemical properties of pregelatinized and granular cold-water swelling corn starches. *Food Chemistry*, Issue 213, pp. 602-608.

Hedayati, S. y otros, 2016. Comparing the effects of sucrose and glucose on functional properties of pregelatinized maize starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, Issue 88, p. 499–504.

Hedayati, S. y otros, 2016. Physical properties of pregelatinized and granular cold water swelling maize starches at different pH values. *International Journal of Biological Macromolecules*, Issue 91, p. 730–735.

Hernández, E., 2005. *Evaluación Sensorial*. Primera ed. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Hyun, M. C. & Byoungseung, Y., 2014. Rheological Characteristics of Cold Thickened Beverages Containing Xanthan Gume-Based Food Thickeners Used for Dysphagia Diets. *Journal of the academy of nutrition and dietetics*, 115(1), pp. 106-111.

Irgens, F., 2014. *Rheology and Non-Newtonian Fluids*. New York: Springer.

Jozami, M., 2016. *Diseño de Nuevos Fluidos de Contraste para la Diagnósis para la de Pacientes Disfágicos*. Huelva: Universidad de Huelva.

Kumagai, H. & Kumagai, H., 2009. Physical Properties of Foods and Effect of Water on Them V. *Rheology and Food Engineering*, 10(3), pp. 137 - 148.

Langmore, S. E. & Murray, . J., 2013. Commonly Used Tests for Evaluation of Deglutitive Disorders. En: *Manual of Diagnostic and Therapeutic Techniques for Disorders of Deglutition*. New York: Springer, pp. 33-316.

Lawless, H. T. & Heymann, H., 2003. *Sensory Evaluation of Food Principles and Practices*. Segunda ed. New York: Springer.

Lewicka, K., Siemion, P. & Kurcok, P., 2015. Chemical Modifications of Starch: Microwave Effect. *International Journal of Polymer Science*, pp. 1-10.

Logemann, J., 1995. Dysphagia: Evaluation and Treatment. *Folia Phoniátrica et Logopaedica*, 47(3), pp. 140-164.

Maestro, A., 2002. *Reología de espesante celulósicos para pinturas al agua: Modelización y mecanismo de espesamiento asociativo*. Barcelona: Universidad de Barcelona, Facultad de Química.

Malagelada, J. y otros, 2014. *Dysphagia Global Guidelines & Cascades*. [En línea].

Malmsjö, M., Thordarson, E., Apell, S. & Fyhr, P., 2012. *Microspheres of hydrolysed starch with endogenous, charged ligands*. [En línea]

Available at: <http://www.google.com/patents/EP2506859A1?cl=en>

- Mason, W. R., 2009. Starch Use in Foods. En: *Starch Chemistry and Technology*. Tercera ed. San Diego: Elsevier, pp. 745-790.
- Matta, Z., Chambers, E., García, J. M. & McGowan, J., 2006. Sensory Characteristics of Beverages Prepared with Commercial Thickeners Used for Dysphagia Diets. *Journal of the American Dietetic Association*, 106(7), pp. 1049-1054.
- Meilgaard, M., Civille, G. & Carr, B., 2000. *Sensory Evaluation Techniques*. Tercera ed. Nwe York: CRC.
- Miladinov, V. & Hanna, M., 2000. Starch esterification by reactive extrusion. *Industrial Crops and Products*, Volumen 11, pp. 51-57.
- National Institutes of Health, 2016. *DailyMed*. [En línea]  
Available at: <https://dailymed.nlm.nih.gov/dailymed/drugInfo.cfm?setid=553285e2-d0e9-8b7b-4766-a0a6b9496f87>  
[Último acceso: 5 Febrero 2017].
- Ney, D., Weiss, J., Kind, A. & Robbins, . J., 2009. Senescent Swallowing: Impact, Strategies, and Interventions. *Nutrition in Clinical Practice*, 24(3), pp. 395-413.
- Penman, J. P. & Thomson, M., 1998. A review of the textured diets developed for the management of dysphagia. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, Issue 11, pp. 51-60.
- Pereira, L. J. & Van Der Bilt, A., 2016. The influence of oral processing, food perception and social aspects on food consumption: a review. *Journal of Oral Rehabilitation*, Volumen 43, p. 630–648.
- Peryam, D. R. & Pilgrim, F. J., 1952. Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, pp. 9-14.
- Popa, S., Murith, M., Chisholm, H. & Engmann, J., 2013. Matching the Rheological Properties of Videofluoroscopic Contrast Agents and Thickened Liquid Prescriptions. *Dysphagia*, Issue 28, p. 245–252.
- Ramírez, J., 2006. *Introducción a la reología de los alimentos*. Cali: ReCiTeIA.
- Rao, M., 2014. *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods*. Tercera ed. New York: Springer.
- Riaño, C., 2013. *Análisis de componentes principales-ACP en la identificación de elementos discriminatorios para caracterizar Coffea Arabica*. Colombia: UNAD.

Rofes, L. y otros, 2010. Diagnosis and Management of Oropharyngeal Dysphagia and Its Nutritional and Respiratory Complications in the Elderly. *Gastroenterology Research and Practice*, pp. 1-13.

Ruiz de las Heras, A., 2016. *Nutrición y Disfagia WebConsultas Healthcare, S.A.* [En línea]

Available at: <http://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/nutricion-y-enfermedad/nutricion-y-disfagia-14899>

Sánchez, B., 2008. *Viscosímetro de bola*. Distrito Federal: Instituto Politécnico Nacional.

Sánchez, C., 2009. Disfagia. En: L. . F. Correa Serna, ed. *Guías para el manejo de Urgencias Tomo II*. Tercera ed. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, pp. 117-121.

Sernka, T. J. & Jacobson, E. D., 1982. *Fundamentos de Fisiología Gastrointestinal*. Barcelona: Reverté.

Severiano, P., Cadena, A. A., Vargas, D. & Guevara, R., 2012. Questionnaire on Mexicans' Familiarity with Odor Names. *Journal of Sensory Studies*, Issue 27, pp. 277-285.

Severiano, P. y otros, 2014. *Manual de Evaluación Sensorial*. Distrito Federal: Facultad de Química, UNAM.

Shaker, R. y otros, 2002. Rehabilitation of Swallowing by Exercise in Tube-Fed Patients With Pharyngeal Dysphagia Secondary to Abnormal UES Opening. *Gastroenterology*, Issue 122, p. 1314–1321.

Simanavičiūtė, D., 2015. Krakmolo cheminis ir fizikinis modifikavimas. Apžvalga. *CHEMINĖ TECHNOLOGIJA*, 66(1), pp. 45-54.

Society of Sensory Professionals, 2017. *The Society of Sensory Professionals*. [En línea]

Available at:

<http://www.sensorysociety.org/knowledge/sspwiki/Pages/Flash%20Profile.aspx>

[Último acceso: 1 Febrero 2017].

Soto, G. R., 2015. *Aplicación de la fécula de maíz para el tratamiento de disfagia. Un estudio sensorial y reológico.*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.

Stone, H., Bleibaum, R. & Thomas, H., 2012. *Sensory Evaluation Practices*. Cuarta ed. Food Science and Technology. International Series: Elsevier.

Szymońska, J. & Wodnicka, K., 2005. Effect of multiple freezing and thawing on the surface and functional properties of granular potato starch. *Food Hydrocolloids*, Volumen 19, p. 753–760.

Tomasik, P., 2003. Chemical Modifications of Polysaccharides. En: *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*. New York : CRC Press, pp. 123-130.

Veitía, G., 2009. Disfagia orofaríngea. *Sociedad Venezolana de Gastroenterología*, 63(4), pp. 302-307.

Velasco, M. M., Arreola, V., Clavé, P. & Puiggrós, C., 2007. Abordaje clínico de la disfagia orofaríngea: diagnóstico y tratamiento [Revisión]. *Nutrición Clínica en Medicina*, 1(3), pp. 172-202.

Villarreal, L., Alvarez, J. & Maldonado, D., 2003. *Aplicación del análisis de Componentes Principales en el Desarrollo de Productos*. Cochabamba: Proyecto Centro de Estadística Aplicada – CESA.

Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L. & Elías, L., 1995. *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. Primera ed. Ottawa: ARCHIV.

Xu, Y., Miladinov, V. & Hanna, M. A., 2004. Synthesis and Characterization of Starch Acetates With High Substitution. *American Association of Cereal Chemists*, 81(6), pp. 735-740.

Zargaraan, A. y otros, 2013. Rheological aspects of dysphagia-oriented food products: A mini review. *Food Science and Human Wellness*, Volumen 2, pp. 173-178.

## ANEXOS

### Anexo 1

Preparación de las muestras espesadas.

Las bebidas utilizadas se prepararon a distintos porcentajes de APG (Ingredion®). Las matrices empleadas fueron: leche saborizada (Yomi Lala®), leche light (LaLa®), bebida de soya natural (Ades®), bebida hidratante (Powerade Ion4®), bebida de manzana (Amix Jumex®). El procedimiento se describe detalladamente a continuación:

Medir el volumen a preparar de la bebida a espesar

Calcular el contenido de APG de acuerdo al porcentaje a emplear, usando la siguiente fórmula

$$g \text{ de APG} = \frac{\text{Volumen (mL)} * \text{porcentaje de APG}}{100}$$

Ejemplo de cálculo:

Volumen a preparar 300 mL  
Porcentaje 7%

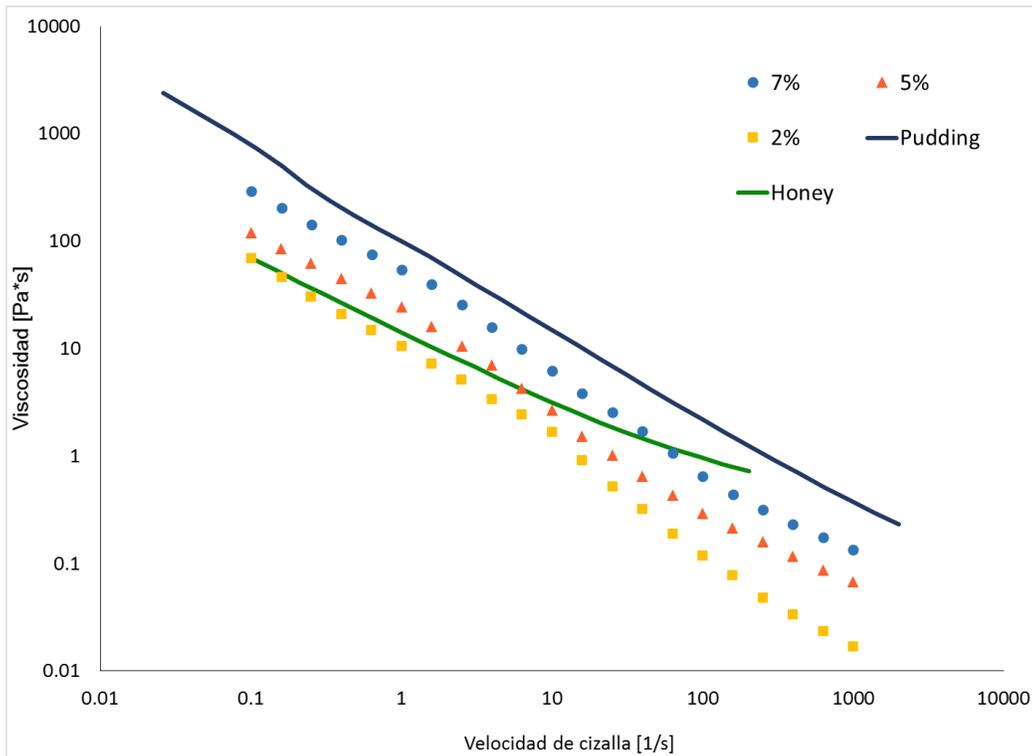
$$g \text{ de APG} = \frac{300 * 7}{100} = 21 \text{ g}$$

Colocar el líquido en un recipiente adecuado, para poder llevar a cabo la agitación. La agitación se realiza con un mezclador.

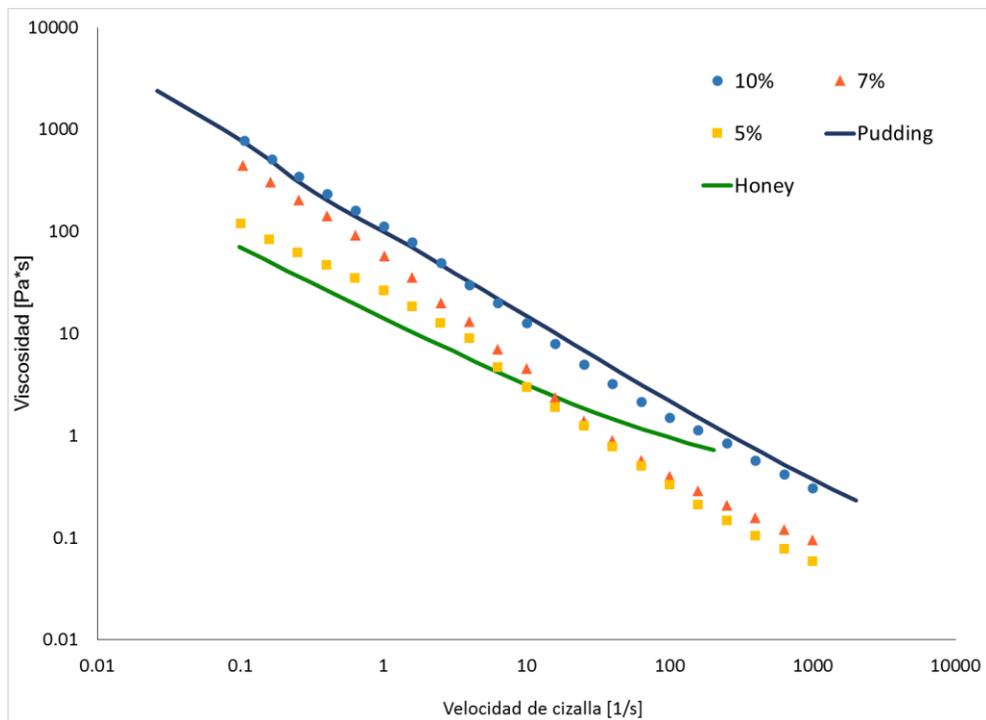
Agregar lentamente el APG, espolvoreándolo, evitar agregar gran cantidad de golpe (para evitar la aglomeración del espesante)

Dejar reposar durante unos minutos en refrigeración para que el fluido se estabilice

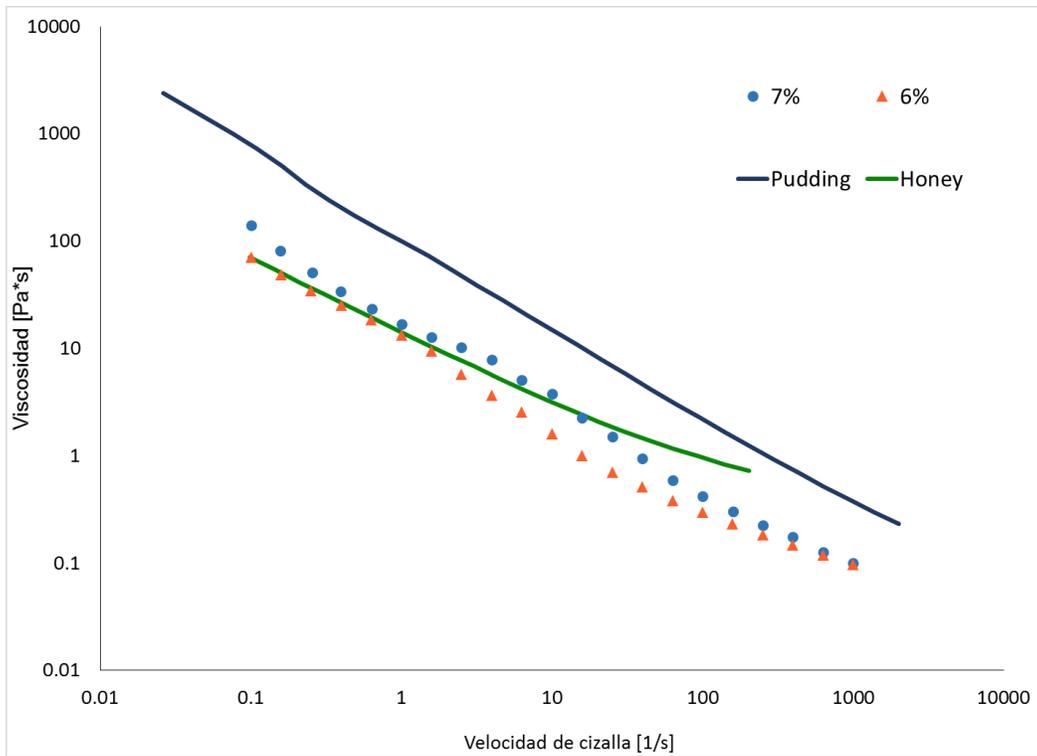
## Anexo 2



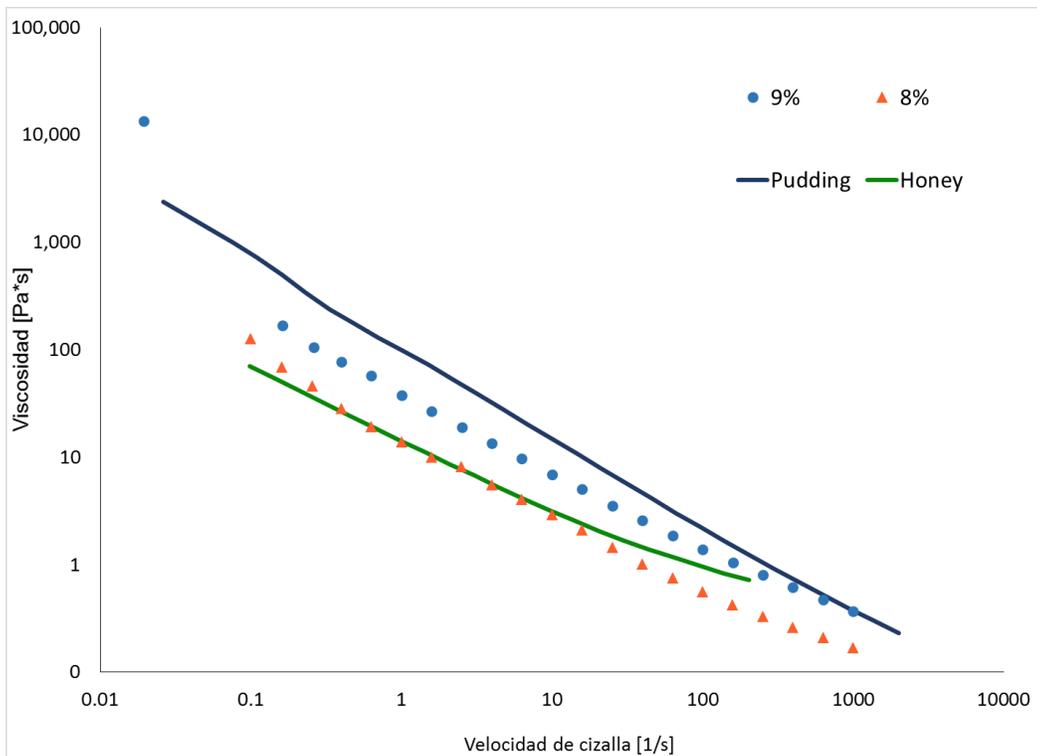
**Figura 42** Bebida hidratante a diversas concentraciones de APG.



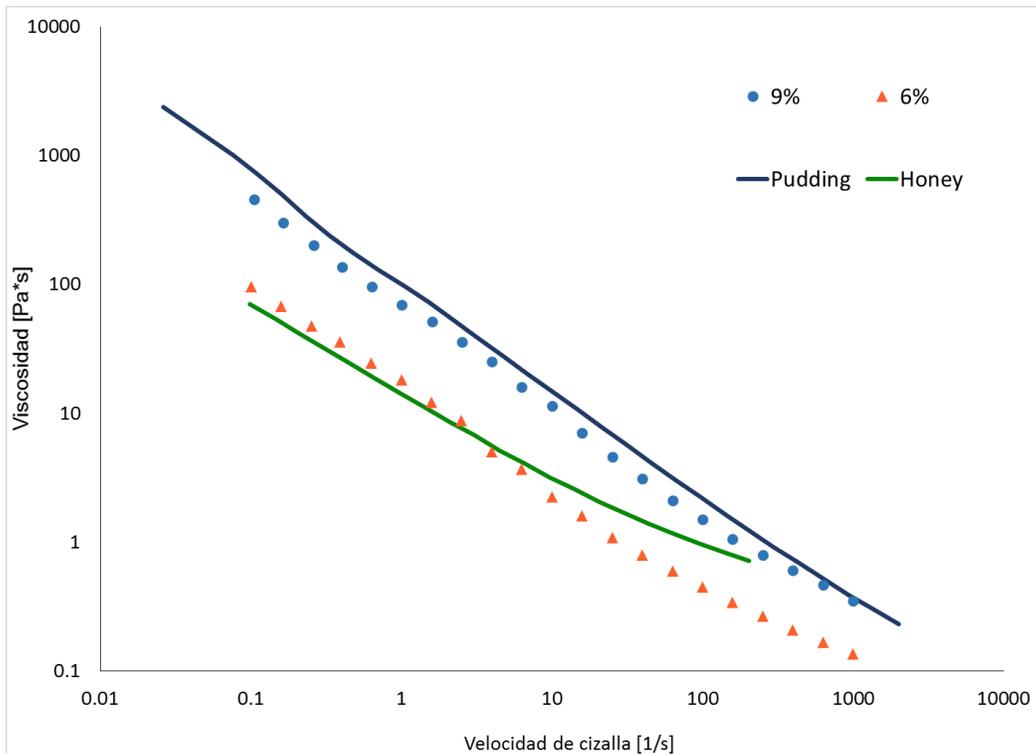
**Figura 43** Bebida de manzana a diversas concentraciones de APG.



**Figura 44 Leche saborizada con 6% y 7%**



**Figura 45 Leche light con 9% y 8% de APG.**



**Figura 46 Bebida de soya con 9% y 6% de APG.**

De las mediciones previas se calculó el promedio de tres determinaciones, y con ellas se obtuvo los parámetros de la ley de potencia, para cada matriz, las cuales se muestran a continuación.

**Tabla 19 Parámetros de la ley de potencia para las bebidas modificadas con APG**

	<b>BH7</b>	<b>BM7</b>	<b>LV7</b>	<b>BSN6</b>	<b>LL8</b>	<b>LL9</b>	<b>BM10</b>	<b>BSN9</b>
k	29.21	31.12	18.19	10.74	18.78	43.79	98.42	66.80
n-1	-0.84	-0.81	-0.80	-0.69	-0.76	-0.73	-0.82	-0.80
n	0.16	0.19	0.20	0.31	0.24	0.27	0.18	0.20
R <sup>2</sup>	0.9969	0.9972	0.9969	0.9943	0.9956	0.9982	0.9973	0.9980

**Tabla 20 Parámetros de la ley de potencia para los fluidos de contraste varibar® consistencias pudding y honey**

	<b>Pudding</b>	<b>Honey</b>
k	103.58	14.642
n-1	-0.826	-0.614
n	0.174	0.386
r <sup>2</sup>	0.9992	0.9944

Con estos parámetros se recalcularon los valores de viscosidad aparente para velocidades de cizalla de 0.1 a 100 s<sup>-1</sup>. A estos valores recalculados (*Tabla 21*) se aplicó un logaritmo base 10, con los datos resultantes se realizó un análisis de varianza, una sola vía (ANOVA p<0.05). Donde se encontró diferencia significativa se realizó una prueba Dunnet, utilizando como control los fluidos de contraste varibar®, en el programa Graph Prism 6.

Los datos se analizaron de la siguiente forma:

ANOVA1. Honey (control), BR7, BM7, LV7 y BSN6

ANOVA2. Pudding (control), BM10, BSN9, BSN6, LL8 y LL9

Tabla 21 Valores de viscosidad aparente recalculados para determinados valores de velocidad de cizalla

Velocidad de deformación	Honey	Pudding	BH7	BM10	BM7	BSN9	BSN6	LL9	LL8	LV7
0.1	60.20	693.87	201.17	651.74	201.36	422.43	53.08	286.76	107.82	115.02
0.3	30.67	280.01	80.12	264.46	82.61	175.22	24.76	123.92	46.84	47.71
0.6	20.04	157.95	44.82	149.70	47.09	100.57	15.31	72.99	27.68	27.38
1	14.64	103.58	29.21	98.42	31.12	66.80	10.74	49.41	18.78	18.19
3	7.46	41.80	11.63	39.94	12.77	27.71	5.01	21.35	8.16	7.54
6	4.87	23.58	6.51	22.61	7.28	15.90	3.10	12.58	4.82	4.33
10	3.56	15.46	4.24	14.86	4.81	10.56	2.17	8.51	3.27	2.88
15	2.78	11.06	3.02	10.65	3.46	7.63	1.64	6.25	2.40	2.08
25	2.03	7.25	1.97	7.00	2.29	5.07	1.15	4.23	1.63	1.38
30	1.81	6.24	1.69	6.03	1.97	4.38	1.01	3.68	1.42	1.19
50	1.33	4.09	1.10	3.96	1.30	2.91	0.71	2.49	0.96	0.79
53	1.28	3.90	1.05	3.78	1.24	2.78	0.68	2.38	0.92	0.76
56	1.24	3.73	1.00	3.61	1.19	2.66	0.66	2.28	0.88	0.72
59	1.20	3.57	0.96	3.46	1.14	2.55	0.63	2.20	0.85	0.69
62	1.16	3.43	0.92	3.32	1.09	2.45	0.61	2.11	0.82	0.67
65	1.13	3.29	0.88	3.20	1.05	2.36	0.59	2.04	0.79	0.64
68	1.10	3.17	0.85	3.08	1.02	2.27	0.57	1.97	0.76	0.62
71	1.07	3.06	0.82	2.97	0.98	2.20	0.56	1.91	0.74	0.60
74	1.04	2.96	0.79	2.87	0.95	2.13	0.54	1.85	0.72	0.58
77	1.02	2.86	0.77	2.78	0.92	2.06	0.53	1.79	0.69	0.56
80	0.99	2.78	0.74	2.70	0.89	2.00	0.51	1.74	0.67	0.54
83	0.97	2.69	0.72	2.62	0.86	1.94	0.50	1.69	0.66	0.53
86	0.95	2.61	0.70	2.54	0.84	1.88	0.49	1.65	0.64	0.51

89	0.93	2.54	0.68	2.47	0.82	1.83	0.48	1.60	0.62	0.50
92	0.91	2.47	0.66	2.40	0.79	1.79	0.47	1.56	0.61	0.49
95	0.89	2.41	0.64	2.34	0.77	1.74	0.46	1.53	0.59	0.47
98	0.88	2.35	0.63	2.28	0.76	1.70	0.45	1.49	0.58	0.46
100	0.87	2.31	0.62	2.24	0.74	1.67	0.44	1.47	0.57	0.45

Tabla 22 ANOVA1

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	1.794	4	0.4485	1.082	P = 0.3679
Error	55.95	135	0.4145	$\alpha=0.05$	No hay diferencia significativa
Total	57.75	139	F4,135	2.439	

Tabla 23 ANOVA2

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	16.02	5	3.203	7.290	P< 0.0001
Error	71.18	162	0.4394	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	87.20	167	F5,162	2.270	

Tabla 24 Parámetros de la prueba Dunnet, para la diferencia de medias

Dunnett's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?	Summary				
Pudding vs. BM10	0.01538	-0.4342 to 0.4649	No	Ns				
Pudding vs. BSN9	0.1564	-0.2931 to 0.6060	No	Ns				
Pudding vs. BSN6	0.8043	0.3548 to 1.254	Yes	****				
Pudding vs. LL9	0.2364	-0.2131 to 0.6860	No	Ns				
Pudding vs. LL8	0.6502	0.2006 to 1.100	Yes	**				
Test details	Mean 1	Mean 2	Mean Diff.	SE of diff.	n1	n2	Q	DF
Pudding vs. BM10	0.8887	0.8734	0.01538	0.1772	28	28	0.0868	162
Pudding vs. BSN9	0.8887	0.7323	0.1564	0.1772	28	28	0.8830	162
Pudding vs. BSN6	0.8887	0.08442	0.8043	0.1772	28	28	4.540	162
Pudding vs. LL9	0.8887	0.6523	0.2364	0.1772	28	28	1.334	162
Pudding vs. LL8	0.8887	0.2386	0.6502	0.1772	28	28	3.670	162

Por lo que se decidió utilizar la bebida de manzana (7%APG), bebida hidratante (7%APG) y la leche saborizada (7%APG) como consistencia honey. Mientras que para las bebidas con consistencia pudding fueron seleccionadas dos bebidas donde no se encontró diferencia significativa, bebida de manzana (10%APG), bebida de soya natural (9%APG).

Anexo 3  
Barridos de porcentaje de deformación

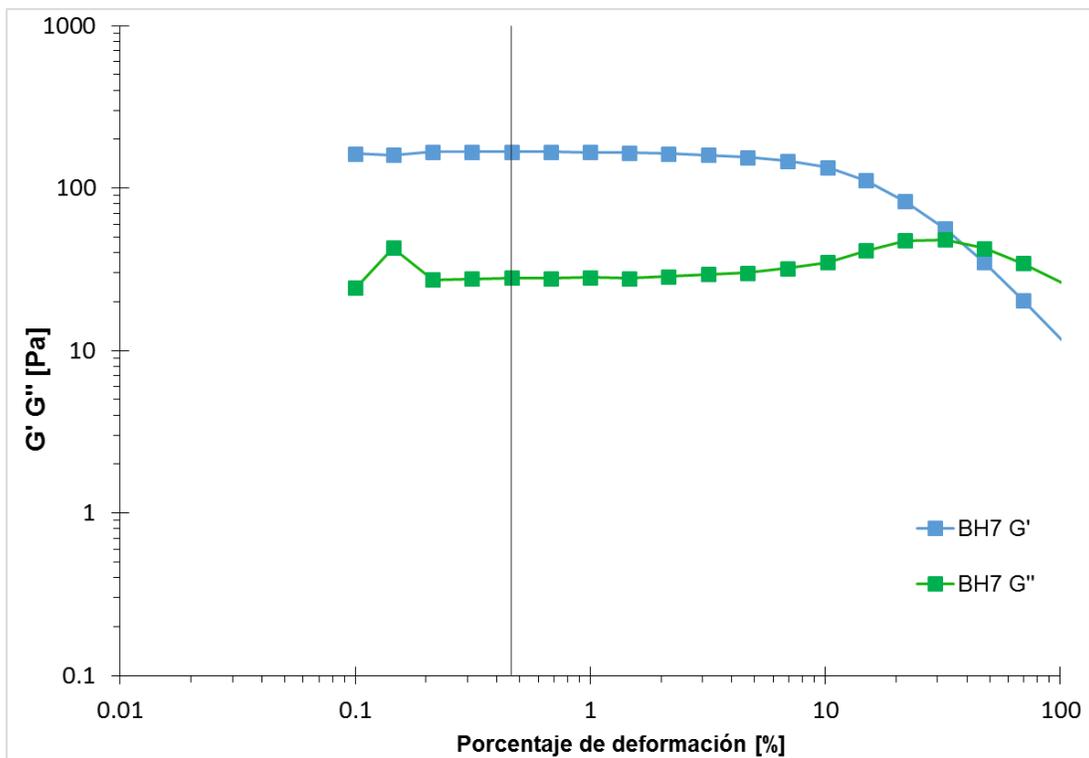


Figura 47 Barridos de porcentaje de deformación para BH7

Se señala con línea el porcentaje de deformación con la que se realizó los ensayos oscilatorios (0.46%).

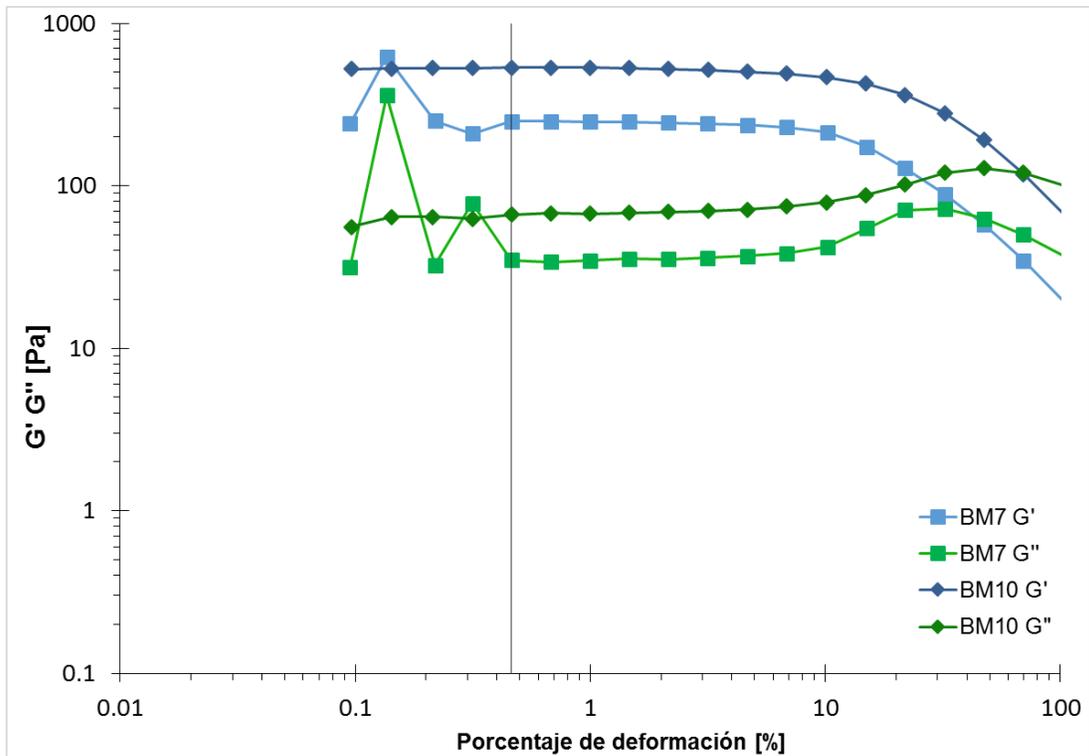


Figura 48 Barrido de porcentaje de deformación para BM7 y BM10 (línea 0.46%)

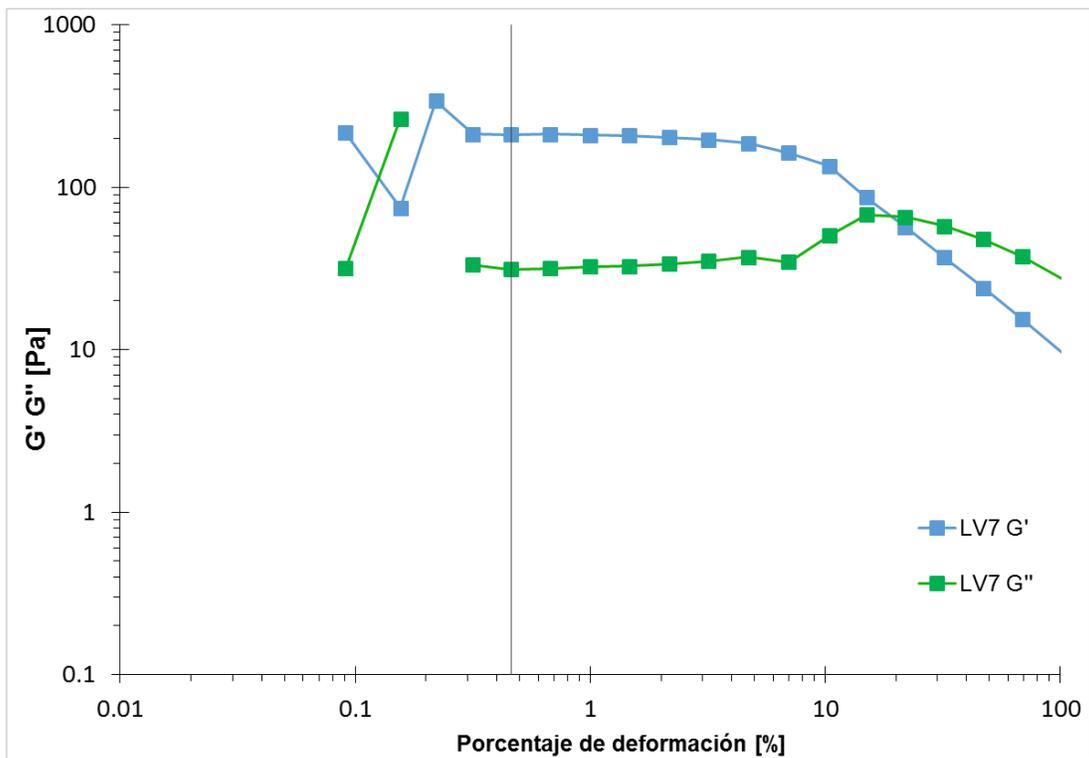


Figura 49 Barrido de porcentaje de deformación para LV7 (línea 0.46%)

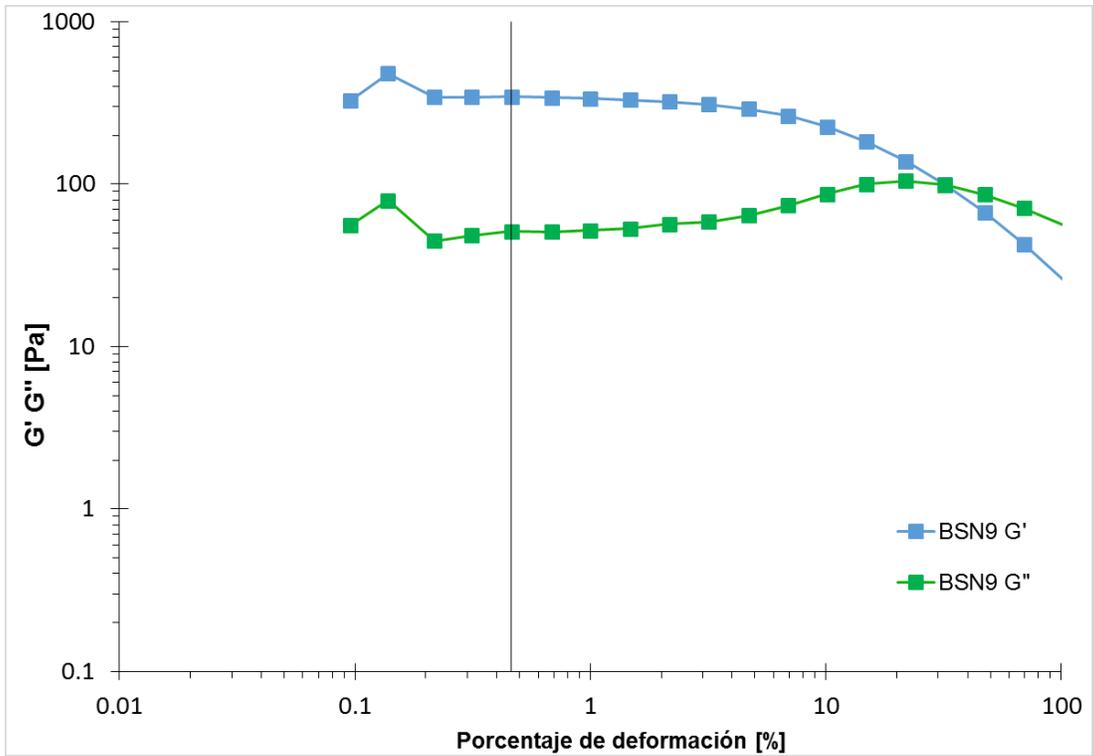


Figura 50 Barrido de porcentaje de deformación para BSN9 (línea 0.46%)

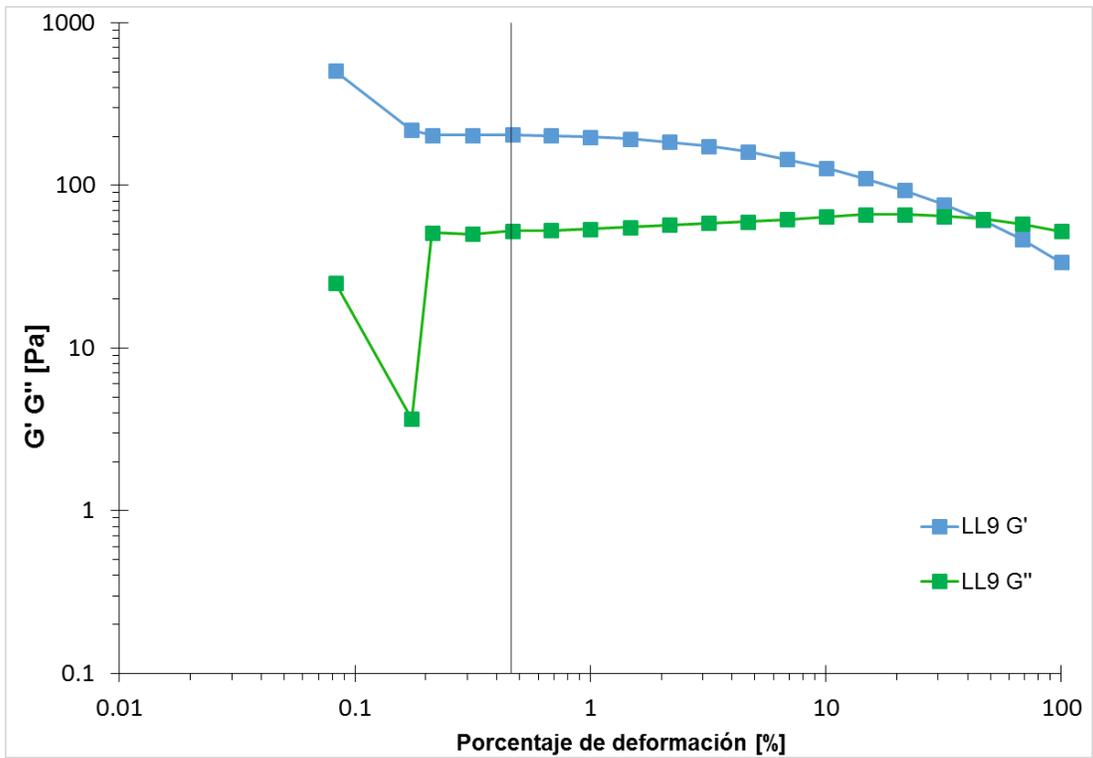


Figura 51 Barridos de porcentaje de deformación para LL9 (línea 0.46%)

Anexo 4

Tabla 25 Parámetros de la ley de potencia para el flujo extensional (altas velocidades) de las bebidas modificadas

	<b>BH7</b>	<b>BM7</b>	<b>LV7</b>	<b>BSN9</b>
<b>I</b>	1150.80	1075.20	307.82	102.81
<b>m-1</b>	-0.92	-0.91	-0.71	-0.46
<b>m</b>	0.08	0.09	0.29	0.54
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9991	0.9986	0.9946	0.9518

Tabla 26 Parámetros de la ley de potencia para el flujo extensional (altas velocidades) de los fluidos de contraste

	<b>Pudding</b>	<b>Honey</b>
<b>I</b>	103.58	14.642
<b>m-1</b>	-0.826	-0.614
<b>m</b>	0.174	0.386
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9992	0.9944

Con estos parámetros se recalcularon las viscosidades extensionales (*Tabla 27*) para diversas velocidades de elongación, desde 500 s<sup>-1</sup> hasta 3050 s<sup>-1</sup>.

Tabla 27 Viscosidades extensionales para velocidades altas de elongación

	<b>BSN9 1:8</b>	<b>LV7 1:8</b>	<b>BM7 1:8</b>	<b>BH7 1:8</b>	<b>Honey 1:8</b>	<b>Pudding 1:8</b>
500	5.90	3.64	3.81	3.76	1.65	6.97
650	5.23	3.02	3.00	2.95	1.57	6.01
800	4.75	2.60	2.49	2.44	1.52	5.35
950	4.39	2.30	2.13	2.08	1.47	4.86
1100	4.10	2.07	1.86	1.82	1.43	4.47
1250	3.87	1.89	1.66	1.62	1.40	4.16
1400	3.67	1.75	1.50	1.46	1.37	3.90
1550	3.50	1.62	1.36	1.33	1.35	3.69
1700	3.36	1.52	1.25	1.22	1.33	3.50
1850	3.23	1.43	1.16	1.13	1.31	3.34
2000	3.12	1.35	1.08	1.05	1.29	3.19
2150	3.01	1.29	1.01	0.98	1.27	3.07
2300	2.92	1.22	0.95	0.92	1.26	2.95
2450	2.84	1.17	0.90	0.87	1.25	2.85
2600	2.76	1.12	0.85	0.82	1.23	2.76
2750	2.69	1.08	0.81	0.78	1.22	2.67

2900	2.63	1.04	0.77	0.74	1.21	2.59
3050	2.57	1.00	0.74	0.71	1.20	2.52

A estos valores recalculados se les dio el mismo tratamiento que en el análisis estadístico para la reología de corte (Anexo 2). El ANOVA, se realizó comparando el fluido de contraste de consistencia honey y BH7, BM7 y LV7. Mientras que para BSN9 y el fluido de contraste de consistencia pudding se utilizó una prueba t.

En ambos análisis estadísticos no se presentaron diferencias significativas.

Tabla 28 ANOVA para las bebidas modificadas de consistencia honey con flujos extensionales

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
<b>Tratamiento</b>	0.09005	3	0.03002	0.9964	P = 0.4597
<b>Error</b>	2.049	68	0.03013	$\alpha=0.05$	No hay diferencia significativa
<b>Total</b>	2.139	71	F3,68	2.740	

Tabla 29 Prueba t para BSN9 y el fluido de contraste Pudding

Unpaired t test	
P value	0.5943
P value summary	ns
Significantly different? (P < 0.05)	No
One- or two-tailed P value?	Two-tailed
t, df	t=0.5377 df=34
How big is the difference?	
Mean $\pm$ SEM of column A	0.5628 $\pm$ 0.03096 N=18
Mean $\pm$ SEM of column B	0.5413 $\pm$ 0.02530 N=18
Difference between means	-0.0215 $\pm$ 0.03998
95% confidence interval	-0.1028 to 0.05975
R square	0.008433

Anexo 5

Tabla 30 ANOVA para nivel de agrado de apariencia

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	412.1	4	103.0	45.13	P < 0.0001
Error	1164	510	2.283	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	1576	514	F4,510	2.389	

Tabla 31 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa en apariencia

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?
LV7 vs. BSN9	2.058	1.482 to 2.635	Yes
LV7 vs. Atole	-0.5922	-1.169 to -0.01590	Yes
LV7 vs. BM7	0.8641	0.2877 to 1.440	Yes
LV7 vs. BH7	0.7573	0.1810 to 1.334	Yes
BSN9 vs. Atole	-2.650	-3.227 to -2.074	Yes
BSN9 vs. BM7	-1.194	-1.771 to -0.6178	Yes
BSN9 vs. BH7	-1.301	-1.877 to -0.7246	Yes
Atole vs. BM7	1.456	0.8800 to 2.033	Yes
Atole vs. BH7	1.350	0.7732 to 1.926	Yes
BM7 vs. BH7	-0.1068	-0.6831 to 0.4695	No

Tabla 32 ANOVA para nivel de agrado de olor

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	425.8	4	106.4	57.08	P < 0.0001
Error	951.0	510	1.865	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	1377	514	F4,510	2.389	

Tabla 33 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para olor

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?
LV7 vs. BSN9	2.631	2.110 to 3.152	Yes
LV7 vs. Atole	0.6019	0.08103 to 1.123	Yes
LV7 vs. BM7	0.4757	-0.04519 to 0.9966	No
LV7 vs. BH7	1.204	0.6830 to 1.725	Yes
BSN9 vs. Atole	-2.029	-2.550 to -1.508	Yes
BSN9 vs. BM7	-2.155	-2.676 to -1.634	Yes
BSN9 vs. BH7	-1.427	-1.948 to -0.9063	Yes
Atole vs. BM7	-0.1262	-0.6471 to 0.3947	No
Atole vs. BH7	0.6019	0.08103 to 1.123	Yes
BM7 vs. BH7	0.7282	0.2072 to 1.249	Yes

Tabla 34 ANOVA para nivel de agrado de sabor

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	641.3	4	160.3	57.87	P < 0.0001
Error	1413	510	2.770	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	2054	514	F4,510	2.389	

Tabla 35 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para sabor

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?
LV7 vs. BSN9	2.320	1.685 to 2.955	Yes
LV7 vs. Atole	-0.6990	-1.334 to -0.06411	Yes
LV7 vs. BM7	-0.6311	-1.266 to 0.003851	No
LV7 vs. BH7	0.7476	0.1127 to 1.382	Yes
BSN9 vs. Atole	-3.019	-3.654 to -2.384	Yes
BSN9 vs. BM7	-2.951	-3.586 to -2.317	Yes
BSN9 vs. BH7	-1.573	-2.208 to -0.9379	Yes
Atole vs. BM7	0.06796	-0.5670 to 0.7029	No
Atole vs. BH7	1.447	0.8117 to 2.082	Yes
BM7 vs. BH7	1.379	0.7437 to 2.014	Yes

Tabla 36 ANOVA para nivel de agrado de textura

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	267.9	4	66.99	25.52	P < 0.0001
Error	1339	510	2.625	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	1607	514	F4,510	2.389	

Tabla 37 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para textura

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?
LV7 vs. BSN9	1.175	0.5567 to 1.793	Yes
LV7 vs. Atole	-0.9903	-1.608 to -0.3722	Yes
LV7 vs. BM7	-0.4563	-1.074 to 0.1618	No
LV7 vs. BH7	0.1845	-0.4336 to 0.8025	No
BSN9 vs. Atole	-2.165	-2.783 to -1.547	Yes
BSN9 vs. BM7	-1.631	-2.249 to -1.013	Yes
BSN9 vs. BH7	-0.9903	-1.608 to -0.3722	Yes
Atole vs. BM7	0.5340	-0.08408 to 1.152	No
Atole vs. BH7	1.175	0.5567 to 1.793	Yes
BM7 vs. BH7	0.6408	0.02271 to 1.259	Yes

Tabla 38 ANOVA para nivel de agrado general

	SC	GL	CM	Fcalculada	Probabilidad
Tratamiento	524.7	4	131.2	58.19	P < 0.0001
Error	1150	510	2.254	$\alpha=0.05$	Hay diferencia significativa
Total	1674	514	F4,510	2.389	

Tabla 39 Prueba Tukey para determinar diferencia significativa para nivel de agrado general

Tukey's multiple comparisons test	Mean Diff.	95% CI of diff.	Significant?
LV7 vs. BSN9	2.165	1.592 to 2.738	Yes
LV7 vs. Atole	-0.6699	-1.243 to -0.09718	Yes
LV7 vs. BM7	-0.4078	-0.9805 to 0.1650	No
LV7 vs. BH7	0.6019	0.02922 to 1.175	Yes
BSN9 vs. Atole	-2.835	-3.408 to -2.262	Yes
BSN9 vs. BM7	-2.573	-3.146 to -2.000	Yes
BSN9 vs. BH7	-1.563	-2.136 to -0.9904	Yes
Atole vs. BM7	0.2621	-0.3106 to 0.8349	No
Atole vs. BH7	1.272	0.6991 to 1.845	Yes
BM7 vs. BH7	1.010	0.4370 to 1.582	Yes

## PARTE II

Tabla 40 Porcentaje de frecuencia de la evaluación de los jueces de nivel de agrado de apariencia

	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
(1)Me disgusta muchísimo	0.00	5.83	0.00	1.94	0.00
(2)Me disgusta mucho	3.88	8.74	0.00	0.00	0.97
(3)Me disgusta bastante	2.91	14.56	2.91	0.97	3.88
(4)Me disgusta poco	5.83	33.01	1.94	18.45	18.45
(5)Ni me gusta ni me disgusta	16.50	8.74	8.74	29.13	21.36
(6)Me gusta poco	11.65	19.42	22.33	27.18	29.13
(7)Me gusta bastante	34.95	6.80	21.36	15.53	18.45
(8)Me gusta mucho	18.45	1.94	32.04	6.80	6.80
(9)Me gusta muchísimo	5.83	0.97	10.68	0.00	0.97
Suma 6-9	70.87	29.13	86.41	49.51	55.34
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*En amarillo se señala el mayor porcentaje en la evaluación*

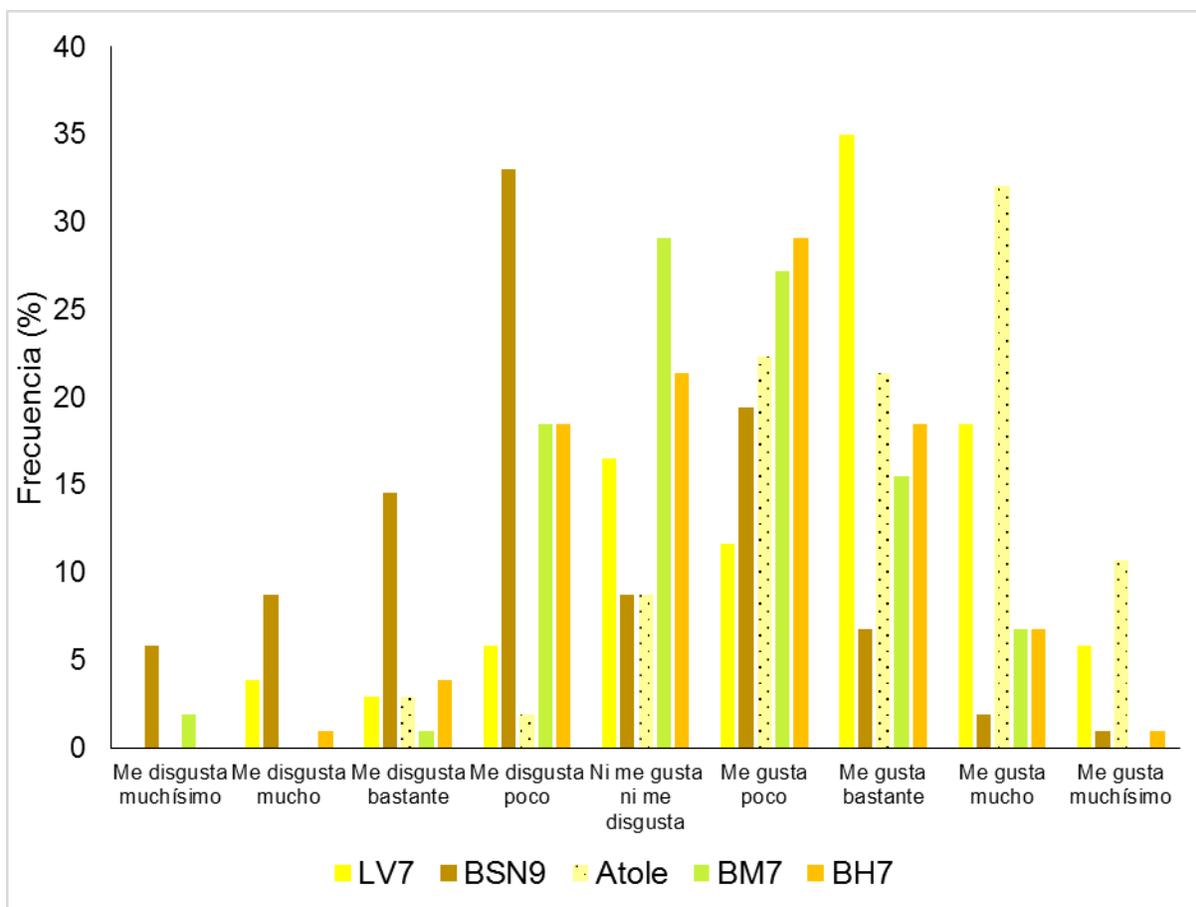


Figura 52 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de apariencia

Tabla 41 Porcentaje de frecuencia de la evaluación de los jueces de nivel de agrado de olor

	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
(1)Me disgusta muchísimo	0.00	2.91	0.00	0.00	0.00
(2)Me disgusta mucho	0.97	7.77	0.00	0.00	0.97
(3)Me disgusta bastante	2.91	7.77	1.94	0.00	0.00
(4)Me disgusta poco	0.97	8.74	4.85	1.94	6.80
(5)Ni me gusta ni me disgusta	9.71	55.34	14.56	11.65	24.27
(6)Me gusta poco	5.83	8.74	19.42	22.33	30.10
(7)Me gusta bastante	19.42	5.83	24.27	32.04	22.33
(8)Me gusta mucho	42.72	2.91	26.21	27.18	14.56
(9)Me gusta muchísimo	17.48	0.00	8.74	4.85	0.97
Suma 6-9	85.44	17.48	78.64	86.41	67.96
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

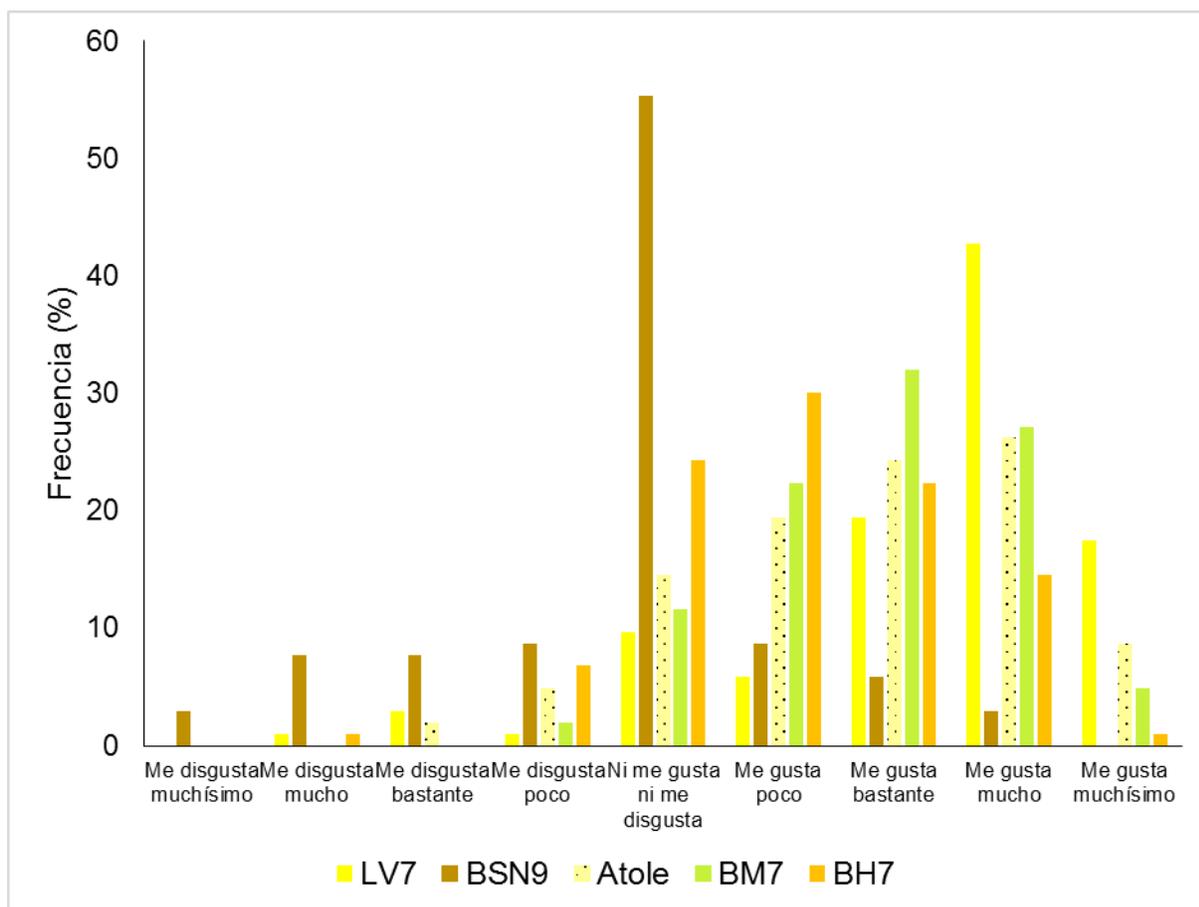


Figura 53 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de olor

Tabla 42 Porcentaje de frecuencia de la evaluación de los jueces de nivel de agrado de sabor

	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
(1)Me disgusta muchísimo	0.97	15.53	0.97	0.00	0.97
(2)Me disgusta mucho	1.94	18.45	0.97	0.00	1.94
(3)Me disgusta bastante	8.74	24.27	1.94	0.97	11.65
(4)Me disgusta poco	14.56	16.50	10.68	6.80	25.24
(5)Ni me gusta ni me disgusta	9.71	2.91	5.83	5.83	13.59
(6)Me gusta poco	19.42	13.59	20.39	35.92	28.16
(7)Me gusta bastante	24.27	2.91	27.18	28.16	11.65
(8)Me gusta mucho	19.42	3.88	23.30	21.36	6.80
(9)Me gusta muchísimo	0.97	1.94	8.74	0.97	0.00
Suma 6-9	64.08	22.33	79.61	86.41	46.60
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

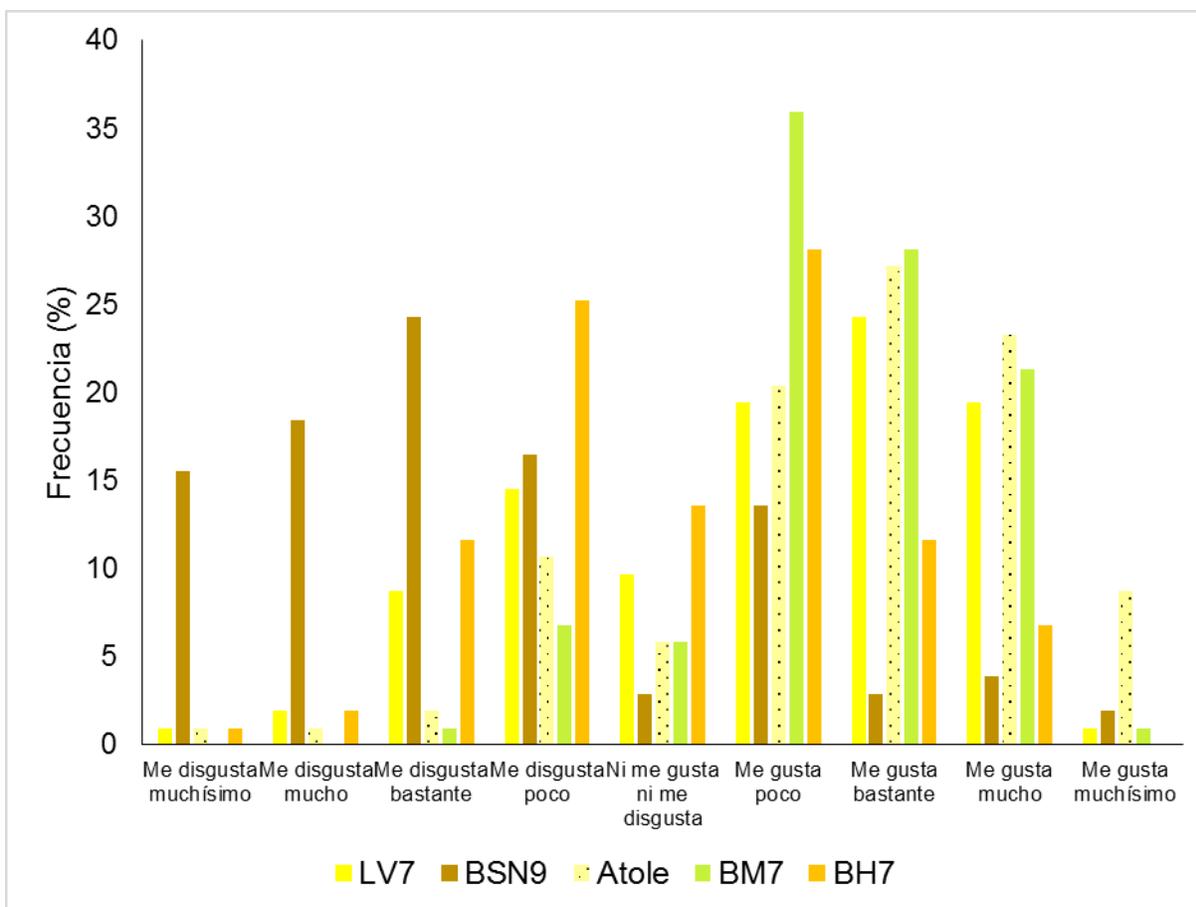


Figura 54 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de sabor

Tabla 43 Porcentaje de frecuencia de la evaluación de los jueces de nivel de agrado de textura

	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
(1)Me disgusta muchísimo	0.97	2.91	0.00	0.00	0.00
(2)Me disgusta mucho	4.85	15.53	0.00	0.00	0.00
(3)Me disgusta bastante	3.88	17.48	3.88	1.94	4.85
(4)Me disgusta poco	19.42	21.36	9.71	11.65	21.36
(5)Ni me gusta ni me disgusta	8.74	6.80	6.80	17.48	18.45
(6)Me gusta poco	27.18	20.39	21.36	26.21	34.95
(7)Me gusta bastante	21.36	4.85	22.33	25.24	15.53
(8)Me gusta mucho	10.68	7.77	25.24	17.48	4.85
(9)Me gusta muchísimo	2.91	2.91	10.68	0.00	0.00
Suma 6-9	62.14	35.92	79.61	68.93	55.34
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

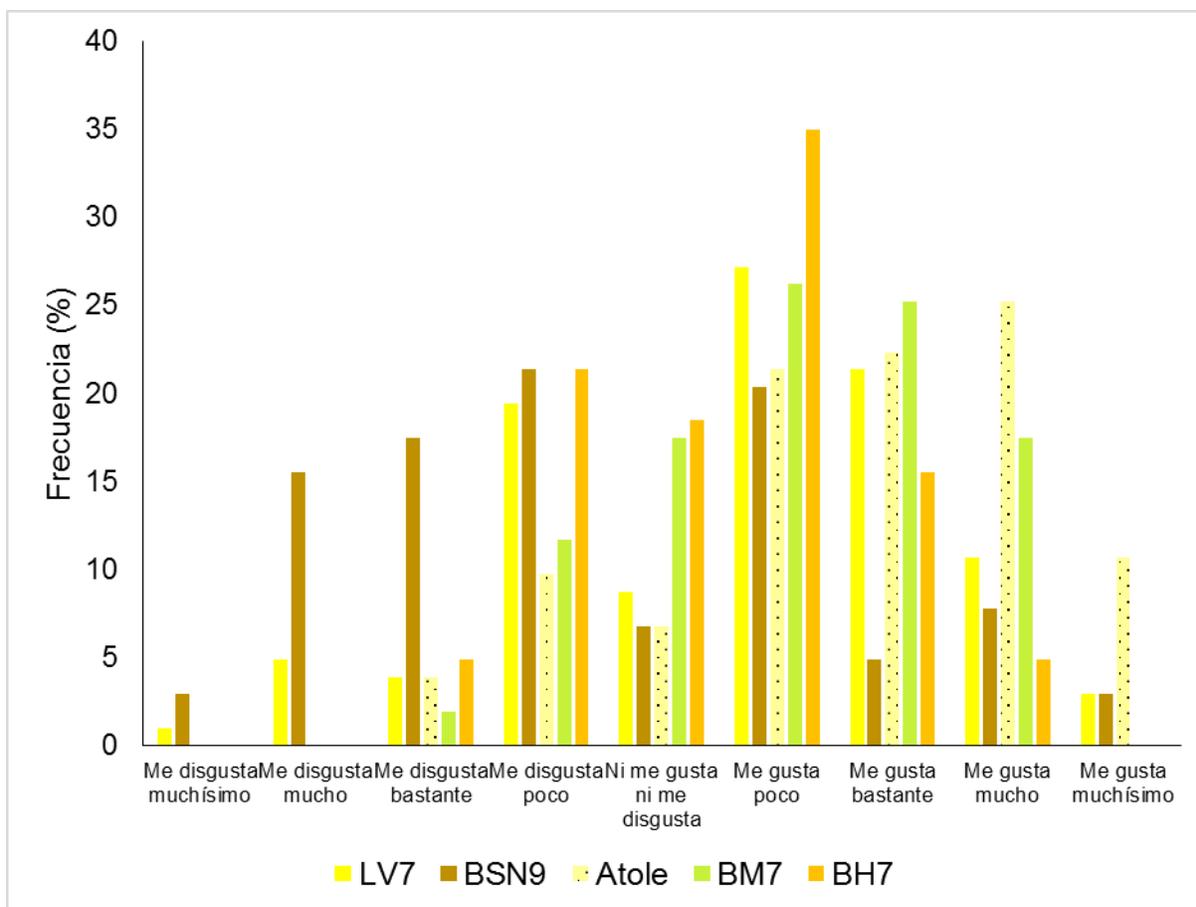


Figura 55 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado de textura

Tabla 44 Porcentaje de frecuencia de la evaluación de los jueces de nivel de agrado general

	LV7	BSN9	Atole	BM7	BH7
(1)Me disgusta muchísimo	0.00	7.77	0.00	0.00	0.00
(2)Me disgusta mucho	2.91	19.42	0.97	0.00	1.94
(3)Me disgusta bastante	7.77	22.33	0.97	0.00	5.83
(4)Me disgusta poco	9.71	16.50	7.77	8.74	24.27
(5)Ni me gusta ni me disgusta	12.62	15.53	4.85	8.74	14.56
(6)Me gusta poco	22.33	8.74	25.24	34.95	33.01
(7)Me gusta bastante	27.18	5.83	32.04	30.10	14.56
(8)Me gusta mucho	14.56	3.88	24.27	17.48	5.83
(9)Me gusta muchísimo	2.91	0.00	3.88	0.00	0.00
Suma 6-9	66.99	18.45	85.44	82.52	53.40
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

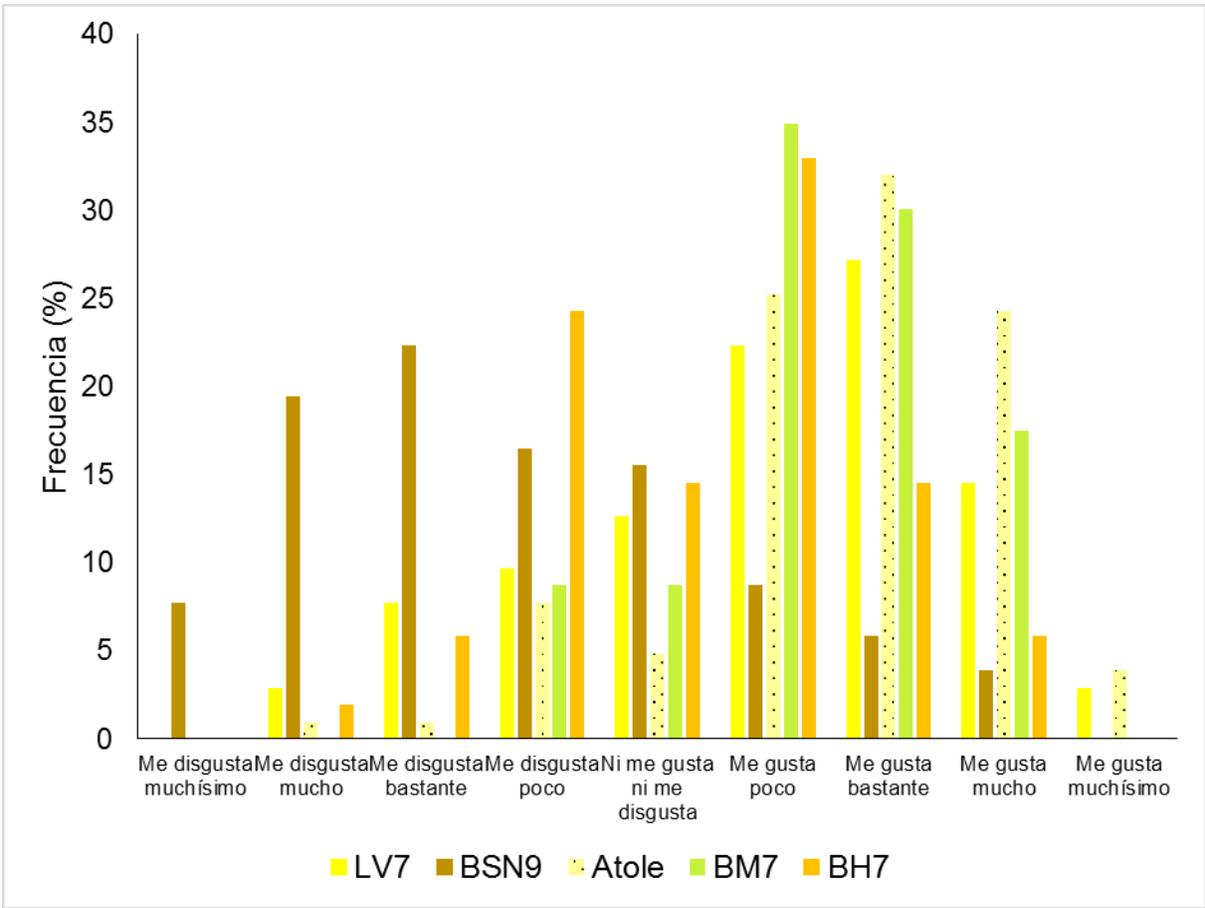


Figura 56 Porcentaje de frecuencia para nivel de agrado general