



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE SUPLEMENTOS DE
PROTEÍNA VEGETAL PARA PERSONAS CON
SÍNDROME DE MALABSORCIÓN**

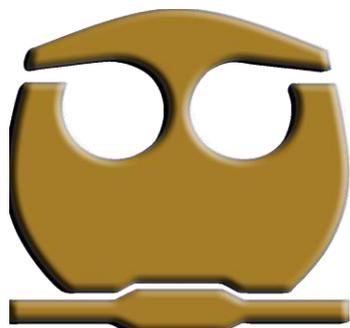
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A:

SILVIA MAGALI SANVICENTE AMAYA



CIUDAD DE MÉXICO

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesora: GÓMEZ ANDRADE DULCE MARÍA

VOCAL: Profesora: GONZÁLEZ HERNÁNDEZ ILIANA ELVIRA

SECRETARIO: Profesora: CORDOVA AGUILAR MARIA SOLEDAD

1er SUPLENTE: Profesor: FONSECA LARIOS RODOLFO

2do SUPLENTE: Profesora: LOAEZA MONDRAGON BERTHA

SITIOS DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CCADET).

LAB. 312, DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA, CONJUNTO E DE

LA FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. UNIDAD DE BIOPROCESOS DEL INSTITUTO

DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS, UNAM, DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN

SENSORIAL, UAM IZTAPALAPA Y GIMNASIO DE HALTEROFILIA, UNAM.

Dra. María Soledad Córdova Aguilar
Asesor del tema

Dra. Isadora Martínez Arellano
Supervisor Técnico

Silvia Magali Sanvicente Amaya
Sustentante

Índice

Índice de Figuras	I
Índice de Tablas	III
Resumen	1
Introducción	2
Objetivo General	3
Objetivos Particulares.....	3
Capítulo 1: Marco Teórico	4
1.1 Síndrome de malabsorción	4
1.1.1 Manifestaciones	4
1.1.2 Malabsorción proteínica	5
1.1.3 Diagnóstico.....	5
1.2. Obesidad mórbida en México y frecuencia de cirugía bariátrica en el mundo.	5
1.3 Cirugía bariátrica	6
1.3.1 Procedimientos quirúrgicos para realizar cirugía bariátrica	7
1.3.2 Bypass gástrico	7
1.3.3 Importancia del consumo de proteína después de la cirugía	8
1.4 Suplementos Alimenticios.....	8
1.4.1 Suplementos de origen vegetal	9
1.5 Leguminosas y cereales	11
1.5.1 Producción de leguminosas a nivel mundial y en México	14
1.5.2 Producción mundial y en México de cereales	15
1.6 Importancia de combinar leguminosas con cereales.....	16
1.7 Harinas	16
1.7.1 Proceso de obtención	16
1.7.2 Caracterización de harinas: análisis físico químicos	17
Inhibidores de tripsina	17
1.8 Aditivos alimentarios: hidrocoloides y edulcorantes	18
1.8.1 Hidrocoloides	18
1.8.2 Edulcorantes	19
1.9 Importancia de la reología en los alimentos	19

1.10 Evaluación sensorial	20
1.10.1 Pruebas con consumidor	21
1.10.2 Nivel de agrado o escala hedónica.....	22
1.10.3 Pruebas de aceptación.....	22
Capítulo 2: Materiales y Metodología	23
2.1 Materiales:	23
2.1.1 Harinas	23
2.1.2 Leche descremada	23
2.1.3 Goma Indica "C".....	24
2.1.4 Cocoa	24
2.1.5 Edulcorantes	24
2.2 Metodología.....	25
2.2.1 Estrategia experimental.....	25
2.3 Harinas	26
2.3.1 Proceso de obtención	26
2.3.2 Determinación de humedad	27
2.3.3 Búsqueda de análisis químico proximal de harinas	27
2.3.4 Perfil de aminoácidos	27
2.3.5 Inhibidores de tripsina.....	28
2.4 Formulación	30
2.4.1 Diseño de mezcla y cálculo del aporte energético y nutrimental teórico	30
2.4.2 Pruebas de dispersión	30
2.4.3 Primera prueba sensorial: nivel de agrado en consumidores.....	31
2.5 Suplemento	32
2.5.1 Reformulación: incorporación de cocoa y edulcorantes	32
2.5.2 Pruebas de sedimentación	32
2.5.3 Caracterización reológica	33
2.5.4 Segunda prueba sensorial: nivel de agrado en consumidores.	35
2.5.4.1 Evaluación de emociones por medio de imágenes	36
2.5.6 Caracterización bromatológica: análisis químico proximal	36
Capítulo 3: Resultados.....	37
3.1 Harinas	37

3.1.1	Proceso de obtención	37
3.1.2	Determinación del contenido de humedad.....	37
3.1.3	Análisis químico proximal (teórico)	38
3.1.4	Perfil de aminoácidos	39
3.1.4	Determinación de inhibidores de tripsina	42
3.2	Formulación	44
3.2.1	Diseño de mezclas y cálculo de aporte energético y nutrimental teórico.....	44
3.2.2	Pruebas de dispersión	45
3.2.3	Primera prueba sensorial: nivel de agrado con consumidores	47
3.3	Suplemento	49
3.3.1	Reformulación: incorporación de cocoa y edulcorantes	49
3.3.3	Pruebas de sedimentación	50
3.3.4	Caracterización reológica	52
3.3.5	Segunda prueba sensorial: prueba afectiva (nivel de agrado con consumidores).....	61
3.3.6	Evaluación de emociones por medio de imágenes	71
3.3.6	Caracterización bromatológica: Análisis Químico Proximal.....	72
	Conclusiones	74
	Perspectivas	75
	Referencias	76
	Anexos	82
	Anexo 1.	82
	Materiales: Harinas	82
	Anexo 2	83
	Perfil de aminoácidos.....	83
	Anexo 3	84
	Inhibidores de tripsina.....	84
	Anexo 4	86
	Primera prueba sensorial afectiva: nivel de agrado con consumidores	86
	Anexo 5	88
	Caracterización reológica	88
	Anexo 6	104
	Segunda prueba sensorial afectiva: nivel de agrado con consumidores	104

Anexo 7.	109
Extenso publicado en memorias del Congreso "Latin Food 2016".	109
Anexo 8. Cartel expuesto en congreso "Latin Food 2016".	115
Anexo 9.	116
Memorias publicadas en "Simposio Internacional de ciencia y tecnología de Alimentos, Villahermosa, Tabasco 2016"	116

Índice de Figuras

<i>Figura 1 Diagrama general de la estrategia experimental.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Hidrólisis de BAPNA con Tripsina</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Metodología determinación de inhibidores de tripsina.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Metodología prueba de sedimentación.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5. Etiqueta final del producto.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 6. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 7. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 2.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 8. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 3.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 9. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 4.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 10. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 5.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 11. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 6.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 12. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 7.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 13. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.1 % de hidrocoloide.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 14. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.3 % de hidrocoloide.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 15. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.5 % de hidrocoloide.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 16. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.6 % de hidrocoloide.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 17. Curvas de amplitud para formulaciones 1, 2 y 3 sin hidrocoloide.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 18. Curvas de amplitud para formulaciones 4, 5 y 6 sin hidrocoloide.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 19. Curvas de amplitud para formulación 7 sin hidrocoloide.</i>	<i>101</i>

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Curva de flujo para formulación 1 con 0.1 % de hidrocoloide.....	34
Gráfica 2. Perfil de aminoácidos de las tres harinas (g/100 g proteína).....	41
Gráfica 3. Comparación de la actividad de inhibidor de tripsina de harina de B y C.....	43
Gráfica 4. Gráfico de barras con tendencia general de la prueba: nivel de agrado.	48
Gráfica 5. Curvas de flujo: formulación 1 variando concentración de hidrocoloide.	52
Gráfica 6. Curvas de flujo para las 7 formulaciones empleando 0.3 % de hidrocoloide	54
Gráfica 7. Tan δ para la formulación 1 variando concentración de hidrocoloide.	56
Gráfica 8. Tan δ para las siete formulaciones con 0.30% de hidrocoloide.	57
Gráfica 9. Módulo complejo para la formulación 1 con diferente concentración de hidrocoloide.	58
Gráfica 10. Módulo complejo para las siete formulaciones con hidrocoloide (0.30 %) y sin hidrocoloide.	60
Gráfica 11. Marcas de suplementos alimenticios consumidos por los evaluadores	61
Gráfica 12. Frecuencia de consumo de suplementos alimenticios.	62
Gráfica 13. Nivel de agrado en general de las 4 muestras.	63
Gráfica 14. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado en general.	64
Gráfica 15. Nivel de agrado para sabor de las 4 muestras.	65
Gráfica 16. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado en sabor.	66
Gráfica 17. Nivel de agrado para dulzor de las 4 muestras.	67
Gráfica 18. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado para dulzor.	68
Gráfica 19. Nivel de agrado para textura de las 4 muestras.	69
Gráfica 20. Medias obtenidas en la prueba de nivel de agrado en textura.	70
Gráfica 21. Porcentaje de frecuencia para emociones.	71
Gráfica 22. Gráfica determinación de inhibidores de tripsina.	85

Índice de Imágenes

Imagen 1. Bypass Gástrico, Gastrectomía Vertical y Banda Gástrica Ajustable.	7
Imagen 2. Algunas especies de leguminosas.....	12
Imagen 3. Estructura de los granos de cereal.....	13
Imagen 4. Sistema de molienda y tamizado.....	26
Imagen 5. Consumidores evaluando	31
Imagen 6. Deportistas evaluando	35
Imagen 7. Evaluación de emociones	36
Imagen 8. Harinas: A, B y C.	37

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Síntomas y signos de acuerdo con el nutrimento malabsorbido.</i>	4
<i>Tabla 2. Suplementos de origen vegetal.</i>	10
<i>Tabla 3. Escala hedónica de 9 puntos.</i>	22
<i>Tabla 4. Connotaciones utilizadas para edulcorantes.</i>	32
<i>Tabla 5. Connotaciones utilizadas en prueba reológica.</i>	34
<i>Tabla 6. Resultados de la determinación de humedad en las harinas.</i>	37
<i>Tabla 7.-Composición bromatológica de las harinas.</i>	38
<i>Tabla 8. Aporte energético y nutrimental de las siete propuestas de suplemento.</i>	45
<i>Tabla 9. Resultados prueba de dispersión con formulación 1.</i>	46
<i>Tabla 10. Análisis químico proximal teórico de formulación 1.</i>	49
<i>Tabla 11. Resultados prueba de sedimentación (con y sin hidrocoloide).</i>	50
<i>Tabla 12. Valores promedio de n y K para formulación 1 variando concentración de goma.</i>	53
<i>Tabla 13. Valores promedio de n y k para todas las formulaciones.</i>	55
<i>Tabla 14. Análisis químico proximal de la formulación final (E25).</i>	73
<i>Tabla 15. Análisis Químico Proximal Teórico de cereales, leguminosas y otros granos</i>	82
<i>Tabla 16. Perfil de Aminoácidos.</i>	83
<i>Tabla 17. Resultados de la determinación de los inhibidores de tripsina.</i>	84
<i>Tabla 18. Análisis de datos determinación inhibidores de tripsina.</i>	84
<i>Tabla 19. Ejemplo de resultados en la determinación de inhibidores de tripsina.</i>	85
<i>Tabla 20. ANOVA nivel de agrado.</i>	87
<i>Tabla 21. Resultados prueba Tukey nivel de agrado</i>	87
<i>Tabla 22. ANOVA índice de flujo (n) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.</i>	101
<i>Tabla 23. Comparación por pares por Tukey de índice flujo (n) para F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.</i>	101
<i>Tabla 24. ANOVA índice de consistencia (k) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.</i>	101
<i>Tabla 25. Comparación por pares por Tukey índice de consistencia (k) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.</i>	102
<i>Tabla 26. ANOVA índice de flujo (n) de las siete formulaciones.</i>	102
<i>Tabla 27. Comparación por pares por Tukey índice flujo (n) de las siete formulaciones.</i>	102
<i>Tabla 28. ANOVA índice de consistencia (k) de las siete formulaciones.</i>	102
<i>Tabla 29. Comparación por pares por Tukey para índice de consistencia (k) de las siete formulaciones.</i>	102
<i>Tabla 30. ANOVA para nivel de agrado en general de la formulación 1 con diferentes edulcorantes y concentraciones.</i>	107
<i>Tabla 31. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en general.</i>	107
<i>Tabla 32. ANOVA para nivel de agrado en sabor.</i>	107
<i>Tabla 33. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en sabor.</i>	107
<i>Tabla 34. ANOVA para nivel de agrado en dulzor.</i>	108

Tabla 35. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en dulzor.....108
Tabla 36. ANOVA para nivel de agrado en textura.108
Tabla 37. Porcentaje de frecuencia de emociones.108

Resumen

La malabsorción es una alteración gastrointestinal que afecta la digestión y la absorción de nutrientes a través del intestino, teniendo como consecuencia la desnutrición y la obesidad. Es un problema complejo de salud pública con determinantes biológicos, socioeconómicos y culturales. Las mujeres, niños, personas mayores y personas discapacitadas son los más afectados. En este contexto, a veces el gobierno otorga suplementos a las personas; sin embargo, los suplementos más utilizados son caros y su sabor es desagradable, ya que están hechos a base de aislados de proteína de suero de leche y una mezcla de aminoácidos. Además del uso antes mencionado, estos suplementos también son comunes en los atletas. El objetivo de este trabajo fue el diseño de suplementos de bajo costo elaborados a partir de cereales y leguminosas para pacientes con el síndrome de malabsorción, específicamente para aquellas personas que fueron sometidas a cirugía bariátrica. Las harinas A1, A2 y A3 (constituidos por un cereal y dos leguminosas) se mezclaron en diferentes proporciones, y para la formulación se adicionó goma, cocoa, edulcorante y leche descremada. El análisis de inhibidores de tripsina en las harinas utilizadas indicó que la proteína de la harina podría asimilarse, ya que el contenido de este factor antifisiológico en las harinas cocidas disminuyó entre 92 y 89% en comparación con las leguminosas crudas. Las pruebas reológicas y de sedimentación definieron la concentración de goma para que la formulación fuera homogénea y de consistencia fluida. El porcentaje de sedimentación sin goma fue de $13.36 \pm 0.95\%$ y con goma de 0%. Asimismo, se realizó una prueba sensorial de nivel de agrado con el fin de observar el agrado de las muestras. Se seleccionó la formulación con mayor nivel de agrado para su reformulación, a la cual se le incorporó cocoa y un edulcorante para elevar su nivel de agrado. A la formulación final se le determinó el análisis químico proximal y se realizó una prueba sensorial en consumidores a través de una escala hedónica de 9 puntos para conocer su nivel de agrado final, en donde la formulación con 2500 mg/kg de Estevia ® fue la de mayor nivel de agrado en general ($\bar{x}=5.8$). Finalmente, el análisis químico proximal indicó que la formulación tenía 5% de proteína, 1% de lípidos y 2% de fibra dietética. De estos resultados, se puede concluir que el suplemento está listo para ser utilizado en programas médicos; sin embargo, son necesarios estudios preclínicos, clínicos y de digestibilidad "ex vivo".

Introducción

El síndrome de malabsorción se define como una alteración en la asimilación de nutrimentos que puede ser producida por la hidrólisis defectuosa de éstos o por una alteración de la absorción mucosa de los nutrimentos (Pérez & Temiño, 2008). El síndrome de malabsorción causa diferentes alteraciones, fundamentalmente pérdida de peso, anemia y desnutrición. Esta condición se presenta por una disminución de la capacidad digestiva, por incremento de la motilidad intestinal o por disminución de la superficie digestivo-absortiva, como en el caso de la cirugía bariátrica. Los pacientes bariátricos requieren de dietas que les proporcionen todos los requerimientos nutrimentales, principalmente de proteína, la cual es el nutrimento más importante en relación al mantenimiento de la masa magra (Stoklossa & Atwal, 2013). Sin embargo, en muchos casos los alimentos que contienen proteínas de alta calidad (carne, huevo, etc.) no son tolerados o son poco accesibles. Promover una alimentación equilibrada resulta complicado en la mayoría de los casos, pues se tiene baja capacidad gástrica o puede presentarse inapetencia. Una alternativa para evitar la desnutrición severa en estos pacientes y alcanzar los requerimientos nutrimentales, es el uso de fórmulas oligoméricas que en la mayoría de los casos deben administrarse por medio de una sonda de alimentación, dada su pobre aceptación por vía oral. Además, todos estos suplementos implican un elevado costo para el paciente.

Esta propuesta estuvo basada en el diseño y la formulación de suplementos con alto valor nutritivo, que tuvieron aquellas fuentes de proteínas de alta tolerancia como las harinas de algunas leguminosas y cereales, además de un hidrogel de origen natural que permita obtener suspensiones con textura y estabilidad aceptable para los consumidores. Cabe señalar que al tener una alternativa nutrimental de bajo costo se evita que este tipo de pacientes abandone el tratamiento. Asimismo, para el desarrollo de los suplementos, se tomó como referencia la dieta para pacientes post quirúrgicos proporcionada por la Clínica de Obesidad del Hospital General Dr. Manuel Gea González, la cual ofrece la cirugía bariátrica como un método eficaz para reducir la morbilidad resultante de la obesidad extrema, mediante el método restrictivo bypass gástrico en Y de Roux (BGYR). Este tipo de cirugía implica cambios en la anatomía y fisiología gastrointestinal, fundamentalmente una limitación significativa en la absorción de nutrimentos (Orlik, et al., 2015), por lo que la dieta para estos pacientes debe ser diseñada de forma tal que sea de fácil ingesta y cubra todos los requerimientos de nutrimentos en un volumen escaso, además de ser hipoenergética.

Objetivo General

Desarrollar formulaciones a base de proteína vegetal como una alternativa para favorecer un balance nitrogenado positivo y reducir la pérdida de masa magra en los pacientes con el síndrome de malabsorción.

Objetivos Particulares

- ❖ Evaluar la calidad de las harinas obtenidas, determinando su humedad y a través de su aspecto físico.
- ❖ Verificar la eliminación de inhibidores de tripsina en las harinas de leguminosas.
- ❖ Diseñar, desarrollar y obtener formulaciones de suplemento a través de un diseño de mezclas.
- ❖ Determinar la estabilidad de los sólidos a través de pruebas de dispersión y sedimentación.
- ❖ Realizar un estudio reológico de las formulaciones.
- ❖ Determinar el nivel de agrado de las formulaciones a través de pruebas sensoriales afectivas.
- ❖ Reformular y adicionar un edulcorante en los suplementos a diferentes concentraciones.
- ❖ Realizar la caracterización bromatológica de la formulación final.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Síndrome de malabsorción

El síndrome de malabsorción es el conjunto de síntomas y signos producidos por una inadecuada asimilación de los nutrientes de la dieta por parte del organismo. El origen, puede estar en el proceso de digestión de los nutrientes, o en su posterior absorción por la mucosa. Tras la digestión tiene lugar la absorción, un conjunto de procesos que permiten que estas sustancias atraviesen la mucosa intestinal hasta llegar al torrente sanguíneo y la linfa y estén disponibles para el metabolismo del organismo (Frago, 2016).

1.1.1 Manifestaciones

Los síntomas son debidos a las carencias nutricionales y a las manifestaciones ocasionadas por los principios inmediatos no absorbidos que permanecen en la luz intestinal. Por tanto, los diferentes cuadros clínicos posibles son muy variados, dependientes también del grado de malabsorción y su mayor o menor especificidad. Algunos de los síntomas y signos se resumen en la *Tabla 1* (Frago, 2016).

Tabla 1. Síntomas y signos de acuerdo con el nutriente malabsorbido.

Síntomas y signos	Nutrientes malabsorbidos
Pérdida de peso	Grasas, carbohidratos y proteínas
Esteatorrea	Grasas
Flatulencia	Carbohidratos
Anemia microcítica	Hierro
Anemia macrocítica	Vitamina B12, ácido fólico
Ceguera nocturna	Vitamina A
Diátesis hemorrágica	Vitamina K
Edemas	Proteínas

FUENTE: Síndrome de malabsorción, Frago, 2016.

1.1.2 Malabsorción proteínica

En la dieta, las proteínas deben estar presentes entre un 10 a un 15% de la energía total ingerida. La función esencial de éstas es estructural y de regulación. La malabsorción proteínica comparte varios mecanismos con la de las grasas, algunas de ellas son: causas de origen gástrico, deficiencia de sales biliares e insuficiencia pancreática exocrina. La proteína es el único macronutriente que no es almacenado en el cuerpo para su posterior uso. Cada molécula de proteína que se incorpora al cuerpo tiene una función especial. La mitad de proteína que se encuentra en el cuerpo está en el músculo esquelético, el resto forma parte de órganos, sangre, enzimas y hormonas. (Heber, et al., 2010;Frago, 2016).

1.1.3 Diagnóstico

El diagnóstico se sospecha tras una correcta historia clínica, interrogando al paciente sobre los factores de riesgo, así como de las posibles consecuencias clínicas de la malabsorción específica de cada nutriente (Romero, et al., 2012). Es poco frecuente encontrar un síndrome de malabsorción completo con esteatorrea, pérdida de peso y diarrea, siendo más habitual detectar anomalías analíticas aisladas. Es importante realizar un estudio detallado y completo de la historia clínica cuando exista sospecha de un cuadro de malabsorción, en especial en los siguientes casos: enfermedad inflamatoria intestinal, antecedentes quirúrgicos, hábitos tóxicos, medicación habitual, inmunodeficiencias, diabetes, tirotoxicosis e insuficiencia cardíaca (Frago, 2016).

1.2 Obesidad mórbida en México y frecuencia de cirugía bariátrica en el mundo.

En México en el año 2012, el 3 % de la población tenía obesidad mórbida según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de la Secretaría de Salud (Gutiérrez, et al., 2012). Es decir, 3.6 millones de personas tenían un IMC mayor a 40. Para 2016, los datos más recientes, la cifra aumentó tres décimas. Aunque parece poco, son 4.2 millones de personas las que tienen obesidad mórbida, lo que representa un aumento de 16.6 % de mexicanos respecto a la prevalencia reportada en 2012. En el mundo, la tasa de obesidad mórbida en 2016 fue de 1% para hombre y 2% para mujeres, según la revista Scientific American. México supera 2.2 veces ese promedio (Agenda Pública, 2017).

1.3 Cirugía bariátrica

En el año 2013 fueron realizadas 468 609 operaciones bariátricas en el mundo; el 95.7 % se llevó a cabo por vía laparoscópica. Estados Unidos y Canadá fueron los países con el mayor número de procedimientos bariátricos (n= 154,276). Otras naciones que reportaron altas estadísticas de estas cirugías fueron: Brasil (n= 86,840), Francia (n= 37,300), Argentina (n= 30,378), Arabia (n= 13,194), Bélgica (n= 12,000), Israel (n= 11,452), Australia-Nueva Zelanda (n= 10,467), y la India (n= 10,002). Asimismo, el procedimiento más común es el bypass gástrico (BGYR): 45%, seguido por la gastrectomía en manga (SG): 37%, y las bandas gástricas ajustables (AGB): 10%. El BGYR disminuyó ligeramente (-1.6%) entre los años 2011 y 2013; sin embargo, sigue siendo la operación bariátrica más utilizada a nivel mundial. En México, se realizan en promedio 7850 operaciones bariátricas al año, de las cuales 3500 son realizadas por el método de BGYR (Angrisani, et al., 2015)

La cirugía bariátrica es un método eficaz para reducir la morbilidad resultante de la obesidad extrema, así como en casos en los que existe una nula respuesta al tratamiento nutricional y médico convencional de reducción de peso. Esta cirugía se ha convertido en una actividad creciente y continua principalmente por dos factores: la elevada prevalencia de obesidad y la falta de respuesta efectiva al tratamiento médico, basado en dieta, actividad física, cambios conductuales y farmacoterapia en distintas combinaciones. (Maluenda, 2012). Hay clara evidencia de que la cirugía bariátrica no solo es efectiva para tratar la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2, sino que además es costo-efectiva, lo que quiere decir que los beneficios para la salud se alcanzan a un precio relativamente aceptable. La Federación Internacional de Diabetes, en una reciente declaración (Dixon, et al., 2011), recomienda el tratamiento quirúrgico para personas con diabetes tipo 2 asociada a obesidad ($IMC \geq 35 \text{ kg/m}^2$) y, bajo algunas circunstancias, para pacientes que tienen IMC entre 30 y 35 kg/m^2 . La cirugía bariátrica además produce mayor pérdida de peso que el tratamiento convencional en obesidad clase 1 y en obesidad severa, acompañado por mejorías en las comorbilidades como diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial y mejoría en la calidad de vida (Maluenda, 2012).

1.3.1 Procedimientos quirúrgicos para realizar cirugía bariátrica

Son tres los procedimientos quirúrgicos utilizados en la práctica clínica contemporánea: el Bypass Gástrico, la Gastrectomía Vertical y la Banda Gástrica Ajustable (*Imagen 1*). La suplementación en el postoperatorio es recomendable después de la cirugía, y es más estricta en las operaciones que involucran malabsorción en su mecanismo de acción (como el bypass), que en las que actúan fundamentalmente a través de restricción (gastrectomía vertical, banda gástrica) (Maluenda, 2012).

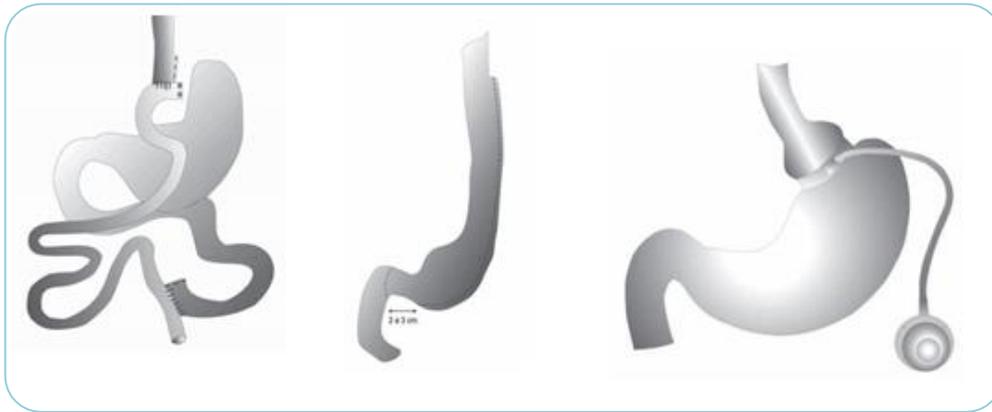


Imagen 1. Bypass Gástrico, Gastrectomía Vertical y Banda Gástrica Ajustable.

1.3.2 Bypass gástrico

El bypass gástrico en Y de Roux (BGRY) implica un componente restrictivo por la creación de un pequeño reservorio gástrico causando cambios en la anatomía y fisiología gastrointestinal, con una limitación significativa en la absorción de diferentes nutrientes (síndrome de malabsorción). Durante el primer año, los pacientes consumen menos de 1000 kcal/día, representando una dieta hipocalórica. El reservorio gástrico creado, limita la ingesta y absorción de proteína. De ahí que todos los pacientes sometidos a esta cirugía bariátrica requieren de ayuda nutricional para subsanar la carencia nutricional. La dieta debe ser hipocalórica, de fácil ingestión por el paciente y que reciba todos los nutrientes mínimos en un volumen escaso (Moize, et al., 2003). La recuperación está dividida en 3 etapas: 1 (líquidos claros y generales), 2 (papillas y puré) y 3 (sólidos suaves), con una duración de 15 días.

1.3.3 Importancia del consumo de proteína después de la cirugía

El consumo de proteína después de la cirugía bariátrica está ligado con el estado nutricional del paciente, así como con la pérdida de peso. La calidad, así como la composición de las fuentes de proteína son muy importantes, principalmente en relación al contenido de leucina; dicho aminoácido ayuda a mantener la masa magra muscular, esencial para el paciente bariátrico. La ingesta de proteínas tiende a ser inadecuada en pacientes bariátricos, ocasionando la pérdida de masa magra muscular. En contraste, las dietas ricas en proteína logran incrementar los niveles de saciedad, la ganancia de peso y mejorar la composición corporal. Por ello es de suma importancia tener el asesoramiento dietético dirigido hacia el paciente, para así obtener resultados exitosos (Heber et al., 2010; Litchford, 2010; Leite et al., 2011). En particular, la ingesta de alimentos disminuye considerablemente después de la cirugía, por lo que es importante que la proteína esté presente en la dieta. Además, la dieta debe facilitar la pérdida de peso, así como el mantenimiento del mismo, preservar la masa magra y lograr la saciedad del paciente post quirúrgico, por lo que su acompañamiento conlleva el uso de suplementos alimenticios (Must, et al., 1999).

1.4 Suplementos alimenticios

Un suplemento alimenticio se define como un alimento utilizado en combinación con otro para mejorar el balance nutricional. El resultado de esa combinación puede utilizarse como complemento de otro alimento o puede mezclarse con otros alimentos para conformar un alimento completo (FAO, 2000). La mayoría de los adultos consume uno o más suplementos alimenticios, diariamente u ocasionalmente. Los suplementos alimenticios pueden incluir vitaminas, minerales, hierbas o plantas, aminoácidos, enzimas, entre otros productos. Se presentan en diferentes formas: tabletas, cápsulas, polvos, bebidas o barras energéticas.

Los suplementos alimenticios ayudan a proveer nutrimentos en cantidades adecuadas; sin embargo, no sustituyen la variedad de alimentos que son de suma importancia en una dieta saludable. Existe evidencia científica que demuestra que algunos de éstos proveen beneficios a la salud en general; sin embargo la FDA no determina su eficacia antes de su comercialización. Algunos suplementos contienen ingredientes activos que generan efectos en el cuerpo, son más propensos a causar efectos secundarios o daño cuando las personas lo toman en lugar de medicamentos o cuando se combinan con otros suplementos. Asimismo, algunos tienen la capacidad de interactuar con ciertos medicamentos recetados, ocasionando problemas en las personas que los consumen (National Institutes of Health, 2017).

Actualmente, los suplementos de proteína son suministrados a personas que han sido sometidos a cirugía bariátrica. A través de los años, la diversidad y el número de este tipo de suplementos se ha ido incrementando, lo que hace difícil la elección para quienes los suministran; sin embargo, es responsabilidad del médico o de la clínica recomendar el suplemento apropiado (Moize et al., 2003).

En el caso particular de este trabajo, la Clínica de Obesidad del Hospital Dr. Manuel Gea González les suministra a los pacientes post-cirugía bariátrica Isopure ® en polvo para cubrir las necesidades proteínicas del paciente. Este suplemento no está dirigido específicamente para los pacientes bariátricos; sin embargo, es el que ha resultado adecuarse a sus necesidades post quirúrgicas. La presentación de 454 g, tiene un costo aproximado de \$800.00 pesos, representando un gasto alto para el tratamiento post-quirúrgico, ya que se consume diario (30 g) por aproximadamente 3 meses.

1.4.1 Suplementos de origen vegetal

Actualmente existen en el mercado suplementos alimenticios de origen vegetal desarrollados a partir de mezclas de harinas de cereales, leguminosas u otras semillas o granos. Por otra parte, también existen diferentes artículos académicos en los que se describe el desarrollo de mezclas, con el objetivo de cubrir necesidades nutricionales para personas con algún padecimiento específico. En la *Tabla 2*, se mencionan algunos de estos desarrollos académicos señalando el tipo de harinas que fueron utilizadas.

De acuerdo a lo anterior, los suplementos de origen vegetal representan una alternativa para cubrir necesidades nutricionales a un menor costo.

Tabla 2. Suplementos de origen vegetal.

<i>Nombre del artículo</i>	<i>Harinas utilizadas</i>
<p>“Evaluation of the acceptability of improved supplementary foods for the treatment of moderate acute malnutrition in Burkina Faso using a mixed method approach.”</p> <p>(Iuel-Brockdorf, et al., 2016) / Appetite/ Dinamarca</p>	<p>Soya</p>
<p>“Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; I: Formulación y aceptabilidad.”</p> <p>(Ramírez, et al., 2011) / Nutrición Hospitalaria / Chile</p>	<p>Quinoa</p> <p>Lupino</p> <p>Maíz</p> <p>Arroz</p>
<p>“Development of ready-to-eat supplementary foods using germinated cereal-pulse mix, potato flour and Green leafy vegetable for malnourished children”</p> <p>(Prasad, et al., 2016) / Nutrition & Food Science / India</p>	<p>Papa</p> <p>Espinaca</p>
<p>“Optimized formulation and processing protocol for a supplementary bean-based composite flour”</p> <p>(Ndagire, et al., 2015) / Food Science Nutrition / Uganda</p>	<p>Frijol</p>

1.5 Leguminosas y cereales

Leguminosas

Las leguminosas pertenecen a la familia vegetal *Fabaceae* o *Leguminosae*, el tercer grupo de plantas más numerosos del planeta, de distribución global y cuyo origen se presume hace alrededor de 90 millones de años. Entre sus características más notables, las leguminosas tienen la capacidad de fijación biológica del nitrógeno. Se consideran leguminosas secas a las semillas deshidratadas comestibles de leguminosas que producen de una a doce granas de diferente tamaño, forma y color dentro de una vaina, ya sea para uso alimentario humano o como forraje animal (*Imagen 2*). Son una fuente rica de proteínas y aminoácidos esenciales que sirve de complemento perfecto a los cereales. Aportan una cantidad importante de hidratos de carbono. Su bajo contenido en grasas y la interacción de sus esteroides se ha demostrado eficaz para mantener niveles bajos de colesterol LDL y reducir la presión arterial. Desde el punto de vista nutricional, las leguminosas poseen un alto contenido de proteína y fibra. Ricas en nutrientes, vitaminas y nutrimentos inorgánicos contienen también una variedad excelente de antioxidantes. Contienen el doble de cantidad de proteína que los cereales de grano entero (trigo, avena y cebada), el triple que el arroz y abundan en nutrimentos inorgánicos como el hierro, el potasio, el magnesio y el zinc. También poseen alto contenido en vitaminas del complejo B; inclusive folato, tiamina o niacina y son generosas en carbohidratos complejos y fibra, lo que propicia una liberación lenta y gradual de energía, genera sensaciones de saciedad, y contribuye a estabilizar la glucemia. Las leguminosas tienen mayor contenido de proteína que los cereales, pero tienen como aminoácidos limitantes a los azufrados, por lo que en ocasiones conviene combinarlas con el arroz y otros cereales, que los poseen en gran medida. En general, se puede decir que las leguminosas contienen bajo contenido en grasa y sodio, son buena fuente de hierro, tienen alto contenido en proteínas, son excelente fuente de fibra y folato, tienen un contenido alto de potasio, un bajo índice glicémico, no tienen colesterol ni gluten.

Las leguminosas han sido parte esencial de la alimentación humana desde hace siglos. Sin embargo, su valor nutricional, en general, no es reconocido y con frecuencia su consumo no se valora lo suficiente. Esta falta de reconocimiento es inmerecida, puesto que las leguminosas desempeñan una función crucial en la alimentación saludable, en la producción sostenible de alimentos y, sobre todo, en la seguridad alimentaria (Javaloyes, et al., 2016).



Imagen 2. Algunas especies de leguminosas

Cereales

Los cereales forman una parte importante de la dieta de muchas personas. Aunque la forma y el tamaño de las semillas pueden ser diferentes, todos los granos de cereales tienen una estructura y valor nutritivo similar: 100 g de grano entero suministran aproximadamente 350 kcal, de 8 a 13 g de proteína, de 58 a 72 g de carbohidratos, de 2 a 5 g de lípidos, y cantidades apreciables de calcio, hierro, y las vitaminas del complejo B. En su estado seco, los granos de cereales carecen completamente de vitamina C. Para obtener una dieta balanceada, los cereales deben suplementarse con alimentos ricos en proteína, nutrientes inorgánicos y vitaminas A y C. La estructura de todos los granos de cereales está compuesta por (*Imagen 3*):

- La cáscara de celulosa, la cual no tiene valor nutritivo para los seres humanos.
- El pericarpio y testa, dos capas bastante fibrosas que contienen pocos nutrientes.
- La capa de aleurona rica en proteínas, vitaminas y nutrientes inorgánicos.
- El embrión o germen rico en nutrientes, consiste de la plúmula y la radícula unidas al grano por el cotiledón.
- El endospermo que comprende más de la mitad del grano y consiste principalmente en almidón.

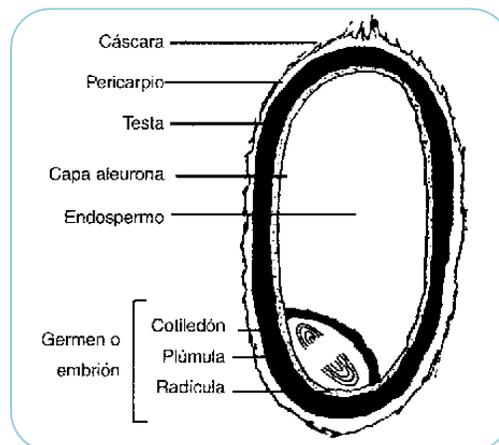


Imagen 3. Estructura de los granos de cereal.

Los granos de cereales están sujetos a diferentes procesos durante su preparación para el consumo humano. Todos los procesos tienen en común el hecho que se han diseñado para retirar las capas fibrosas del grano. Algunos procesos, sin embargo, tienen por objetivo producir un producto altamente refinado que consiste principalmente del endospermo del grano. Una característica en todos los procesos para obtener un producto refinado es que reducen el valor nutricional del grano. Por ejemplo, para la elaboración de harina de trigo se elimina totalmente la cascarilla del grano, por lo que se eliminan también las vitaminas del complejo B, proteínas y hierro que se encuentran en ella.

Los métodos tradicionales de procesamiento involucran el uso de una maja y mortero o piedras, los que generalmente producen un grano de cereal que ha perdido algunas de sus capas externas pero retiene por lo menos una parte del germen, incluyendo el cotiledón. La molienda ligera, similar a moler en el hogar, también produce un producto que retiene la mayoría de los nutrientes. Los cereales altamente refinados, tales como la harina de maíz blanca, el arroz pulido y la harina de trigo blanca, han perdido la mayoría del germen y las capas externas y con ello la mayoría de las vitaminas de complejo B y algo de las proteínas y minerales (Departamento de Agricultura, FAO, 2017).

1.5.1 Producción de leguminosas a nivel mundial y en México

Durante la última década, la producción mundial de leguminosas creció a una tasa promedio anual de 3.1%, al ubicarse en 78 millones de toneladas; 18% de ese volumen se comercializa en el mercado internacional.

La mitad de la cosecha global se concentra en cinco países: India (26%), Canadá (8%), China y Myanmar (6% cada uno) y Brasil (4%). Canadá es el principal exportador (36%), seguido por Australia, Myanmar (10% cada uno) y Estados Unidos (9 %).

Las diversas variedades de frijol representan 40% del volumen cosechado, le siguen el garbanzo (18%), los chícharos secos o arvejón (15%), y lentejas y habas (6% cada uno) (Gaucín, 2016).

En México, se destinan alrededor de 1.93 millones de hectáreas al cultivo de cinco leguminosas: frijol (91.7% de esa superficie), garbanzo (6.4%), haba (1.4%), lenteja (0,4%) y arvejón (0.1%). En conjunto, ocupan 12.3% del área destinada a

los cultivos cíclicos del país, en tanto que el valor de su producción contribuye con 6.4% del valor total de los cultivos anuales.

Entre el 2012 y el 2014, se produjo un promedio anual de 1.22 millones de toneladas de frijol; 217,834 toneladas de garbanzo; 29,845 toneladas de haba; 5,093 toneladas de lenteja y 2,665 toneladas de arvejón.

Con excepción del garbanzo, la producción de leguminosas se desarrolla en su mayor parte en condiciones de temporal, sobre todo en las regiones centro y norte del país (Gaucín, 2016).

1.5.2 Producción mundial y en México de cereales

El arroz, el trigo y el maíz son los tres granos con mayor producción mundial; cada uno contribuye en más del 25% a la producción mundial, que es superior a 1.900 millones de toneladas; esta contribución ha permanecido relativamente estable durante los últimos 30 años. La producción de cebada está próxima al 8% y el 8% restante está distribuido entre el resto de los cereales. La tasa de crecimiento anual del cultivo de cereales ha descendido de 2.5 % en los años 70 y 1.9 % en los años 80 a sólo un 1.5% en los años 90. Para el año 2015 hubo un aumento del 1.4% (Gil, 2010).

En el 2008 México alcanzó una producción de 37,481,648 toneladas de granos básicos; el maíz fue el cultivo más importante debido a que aportó el 65.1%, en segundo lugar el sorgo, ya que contribuyó con el 17.6% y en tercer lugar el trigo con 11.2%. El frijol, la cebada, el arroz y la avena contribuyeron con una participación de 3%, 2.1%, 0.6% y 0.4%, respectivamente. Durante el período que comprende 1998 a 2008, la producción de granos en México de manera global presentó un comportamiento a la alza, debido a que presentó una tasa anual de crecimiento (TMAC) de 1.9%, sin embargo en el caso de arroz y frijol durante el período mencionado tuvieron una TMAC de -6.28% y -1.14%, respectivamente. La cebada fue el cultivo que presentó la mayor TMAC con 6.02% (SAGARPA, 2017).

1.6 Importancia de combinar leguminosas con cereales

La mayoría de los vegetales, frutos secos, leguminosas, cereales, frutas y verduras, tienen proteínas cuya composición cuantitativa en aminoácidos esenciales difiere con respecto a la composición de las proteínas de origen animal, por lo que una sola fuente de proteínas vegetales puede ser insuficiente para una alimentación normal, debido a la deficiencia de algunos aminoácidos en los cereales, las leguminosas, las verduras, etc. Sin embargo, cuando se combinan en la dieta, la calidad biológica de las proteínas se complementa. Los cereales son pobres en lisina, siendo un aminoácido limitante, y las leguminosas son deficientes en metionina. Asimismo, cuando se ingieren proteínas con un contenido bajo de diferentes aminoácidos, la mezcla de aminoácidos resultantes puede tener una calidad biológica buena para mantener un estado de nutrición normal (Gil, 2010).

El aprovechamiento de una proteína aislada no depende de su origen (vegetal o animal), sino que hay proteínas muy aprovechables y poco aprovechables, ya que dependen de la cantidad de aminoácidos que contengan, entre otros factores. La combinación de las proteínas, conduce a un aprovechamiento significativo (Casanueva et al., 2001). Una de las formas en las cuales es posible combinar diferentes alimentos es en harinas.

1.7 Harinas

Se entiende como harina al producto resultante de la molienda de los granos (trigo, centeno, avena, cebada, maíz, etc.); maduros, limpios, enteros, sanos y secos. (NOM-147-SSA1-1996.)

1.7.1 Proceso de obtención

El primer paso para la obtención de harina es el lavado del grano; en la industria este proceso se realiza a través de separadores magnéticos que eliminan los residuos de mayor tamaño. Posteriormente, se realiza el acondicionamiento de grano para poder ser molido. El objetivo principal es mejorar el estado físico del grano, lo cual optimiza la calidad de la harina obtenida. Para este acondicionamiento se añade agua y se deja en reposo durante un periodo de tiempo que puede ir de las 6 hasta las 24 horas.

Una vez adecuado el grano, se procede a la molienda, que puede ser en seco (se separan las partes anatómicas del grano) o húmeda (se separan constituyentes como el almidón, las proteínas o la fibra) (Gimferrer, 2009).

1.7.2 Caracterización de harinas: análisis físico químicos

Análisis bromatológico

Los análisis bromatológicos se aplican a los materiales que se utilizan para formular una dieta (como fuente de proteína o de energía) y a los productos terminados como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos. Estos análisis indican el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), fibra cruda, lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno en la muestra (Departamento de Pesca, 2017).

Perfil de aminoácidos

El análisis de aminoácidos brinda información nutricional de las proteínas y determina posibles adulteraciones o establece la autenticidad de productos naturales. Su estudio es importante en la industria alimentaria y fundamental para la salud humana. Este tipo de evaluaciones se vuelve de gran importancia al momento de elaborar un plan de alimentación para personas que deben restringir su dieta por razones médicas, pero también es vital para la industria alimentaria (Rivara, 2017).

Calidad proteínica

El puntaje químico (calificación química o score de aminoácidos) es la proporción en la que se encuentra un aminoácido indispensable con respecto al patrón de referencia (Casanueva, et. al., 2001), y se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Calificación química} = \frac{\frac{\text{g de aminoácido}}{100 \text{ g proteína de muestra}}}{\frac{\text{g de aminoácido}}{100 \text{ g de proteína de referencia}}}$$

En la actualidad el método sugerido para evaluar la calidad proteica es la calificación del cómputo químico o score de aminoácidos corregido por digestibilidad proteica o PDCAAS. El PDCAAS más alto que puede recibir una proteína es de 100%. Las calificaciones por encima de 1.0 se nivelan pues todos los aminoácidos en exceso no son utilizados para síntesis de tejidos, sino que son desaminados y oxidados para ser utilizados en el metabolismo energético o almacenados como tejido adiposo (Suárez, et al., 2006).

Inhibidores de tripsina

Los inhibidores de proteasas son proteínas ampliamente distribuidas en todas las plantas, las cuales tienen la capacidad de inhibir la actividad proteolítica de las

enzimas digestivas tripsina y/o quimiotripsina. Este grupo de proteínas se dividen en dos familias, Kunitz y Bowman-Birk. Los inhibidores tipo Kunitz poseen una masa molecular entre 18 y 24 kDa, y contienen entre 170 y 200 aminoácidos. Además, tienen la característica de solo inhibir a una molécula de tripsina, son inhibidores competitivos uniéndose al mismo sitio activo que el sustrato. Los inhibidores de Bowman-Birk son más pequeños (7 a 9 kDa) los cuales contienen de 60 a 85 aminoácidos, y tienen la particularidad de inhibir de manera simultánea a dos enzimas (tripsina/tripsina o tripsina/quimiotripsina) (Cabrera, et al., 2013). Estas proteínas son esenciales en ciertas funciones biológicas de las leguminosas, principalmente en la regulación proteolítica y participando en los mecanismos de defensa en contra de insectos, hongos y microorganismos patógenos. Por otro lado, los inhibidores de proteasas disminuyen la eficiencia del aprovechamiento de las proteínas, reduciendo la capacidad del tracto digestivo para metabolizarlas (Komklao, et al., 2011). Estos factores pueden ser inactivados por un tratamiento térmico favoreciendo la digestibilidad y el aprovechamiento de la proteína. Sin embargo, el tratamiento térmico puede disminuir la disponibilidad de algunos aminoácidos, en particular de la lisina (López, 2011).

La elaboración de suplementos requiere con frecuencia el uso de diversos aditivos alimentarios. Son añadidos para mantener o mejorar la inocuidad, la frescura, el sabor, la textura o el aspecto del alimento, por lo que es necesario comprobar que no causen efectos perjudiciales para la salud humana antes de utilizarlos.

1.8 Aditivos alimentarios: hidrocoloides y edulcorantes

1.8.1 Hidrocoloides

Las gomas alimenticias son obtenidas a partir de una variedad de fuentes: exudados y semillas de plantas terrestres, algas, productos de la biosíntesis de microorganismos, y por medio de la modificación química de polisacáridos naturales.

Una goma puede ser definida como cualquier polisacárido soluble en agua, que puede ser extraído a partir de vegetales terrestres o marinos, o de microorganismos que poseen la capacidad, en solución, de incrementar la viscosidad y/o de formar geles. Las gomas vegetales de uso generalizado son los galactomanos de las semillas de guar (*Ceratonia siliqua*), los exudados como la goma arábiga y el tragacanto y las de las algas como las carrageninas y los alginatos. Todos ellos son muy utilizados en el procesamiento de muchos alimentos. Las gomas realizan al menos tres funciones en el procesamiento de los alimentos: emulsificantes, estabilizantes y espesantes. Además, algunas también son agentes

gelificantes, formadoras de cuerpo, agentes de suspensión y aumentan la capacidad para la dispersión de gases en sólidos o líquidos (Ponce, et al., 2014).

1.8.2 Edulcorantes

Los edulcorantes son compuestos naturales o sintéticos con sabor dulce pero con un poder energético nulo o insignificante en proporción a su poder edulcorante y en términos prácticos se puede decir que carecen de valor nutritivo. La búsqueda de nuevos edulcorantes se ve dificultada por el hecho de que la relación entre la estructura química y la percepción del sabor dulce no se ha aclarado satisfactoriamente. Para que una sustancia pueda ser considerada como un edulcorante deben satisfacerse criterios importantes como: la solubilidad, su estabilidad a intervalos amplios de pH, temperatura y proporcionar un sabor dulce, limpio, sin resabio (Belitz, et al., 2009).

1.9 Importancia de la reología en los alimentos

La reología es la ciencia que proporciona las herramientas para entender la relación entre las fuerzas externas que actúan sobre un material y las deformaciones que se producen (Ramírez, 2006; Van Wazer *et al.*, 1963).

La mayor parte de los alimentos son suspensiones heterogéneas, cuyas propiedades reológicas son relevantes para determinar la naturaleza y alcance de las fuerzas de interacción en el procesamiento y movilización, conocer la estructura y características sensoriales del alimento, así como permitir señalar el tipo de comportamiento del material y la expresión matemática que lo describa mejor, además de las respuestas dinámicas de los geles o suspensiones coloidales (Ramírez, 2006). Para ello, se requiere de definir algunos conceptos básicos tales como:

- Fuerza, que es un agente capaz de deformar un cuerpo (Ramírez, 2006).
- Fluido, sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte (cizalla), por tanto, en ausencia de este, no habrá deformación. Los fluidos pueden clasificarse de manera general de acuerdo con la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la relación de deformación. La relación entre el esfuerzo de cizalla requerido para inducir una determinada velocidad de deformación en cizalla, caracteriza el comportamiento reológico de un fluido (Ramírez, 2006).

- Deformación, cambio en el tamaño o forma de un material debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas (Ramírez, 2006).
- Viscosidad, resistencia al flujo debido a las fuerzas de atracción y cohesión que mantienen las moléculas a distancias ínfimas. La viscosidad disminuye con la temperatura y decrece con la presión (Ramírez, 2006).
- Para el estudio del material, se somete primero a una deformación lineal a una velocidad de cizalla simple donde la respuesta es función de la resistencia interna. Por otra parte, por medio de ensayos dinámicos oscilatorios se caracterizan las respuestas del material a una deformación periódica en un tiempo de observación determinado, que define la dependencia con la estructura molecular del material (Macosko, 1994).
- Componente elástico, el material se comporta como un sólido ideal, el esfuerzo depende linealmente de la deformación y es directamente proporcional a la energía almacenada.
- Componente viscoso, el material se comporta como un fluido ideal que cumple con la Ley de Newton y el esfuerzo está desfasado 90°, dando lugar a energía disipada.
- Material viscoelástico, comportamiento intermedio donde el esfuerzo de cizalla tiene un desfase respecto a la deformación existente entre 0° y 90°.

1.10 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial surge como una necesidad de mantener constante la calidad de los alimentos procesados y por ende mantener el liderazgo en el mercado, y es en esta industria donde ha tenido el mayor desarrollo. Su propósito es estudiar cómo las propiedades de los alimentos u otros materiales son percibidos por los sentidos: vista, olfato, gusto, tacto y oído. Las técnicas sensoriales requieren que todos sus métodos de medida sean rigurosos precisos y válidos. También están relacionados con la percepción y preferencia de los consumidores. Uno de los objetivos de la evaluación sensorial es el entendimiento de la importancia de las características sensoriales y el papel que juegan en la experiencia sensorial que lleva a cabo un consumidor al momento de decidir su aceptación o agrado hacia un producto, concepto o servicio.

Los métodos sensoriales en forma general pueden ser separados en dos grupos: métodos analíticos y métodos afectivos. El propósito de los métodos analíticos es evaluar las características de los alimentos utilizando para ello jueces entrenados, mientras que los métodos afectivos evalúan la respuesta o lo que provoca el producto en el consumidor (Severiano, et al., 2016).

1.10.1 Pruebas con consumidor

Las pruebas con consumidor son una herramienta importante de investigación y toma de decisiones, y consiste en evaluar la respuesta hedónica de los consumidores hacia un producto. El hedonismo hace referencia al placer subjetivo derivado de la apariencia, el sabor, olor y la textura de un alimento.

Este análisis tiene como objetivos: el mantenimiento del producto, la mejora u optimización del producto, el desarrollo de nuevos productos, la evaluación potencial de un mercado y la exploración de la categoría de productos (Severiano, et al., 2016).

1.10.2 Nivel de agrado o escala hedónica

La escala hedónica más común es la de 9 puntos (*Tabla 3*), aunque también existen variantes de ésta, como son las de 7, 5 y 3 puntos o la escala gráfica de caras sonrientes que se utiliza generalmente con niños. La escala de 9 puntos es una escala bipolar y se ha utilizado extensamente en una amplia variedad de productos. Es la prueba recomendada para la mayoría de los estudios o en proyectos de investigación estándar, donde el objetivo es determinar si existen diferencias entre los productos en la aceptación del consumidor. En esta escala es permitido asignar la misma categoría a más de una muestra (Drake, 2007).

Tabla 3. Escala hedónica de 9 puntos.

(9) Me gusta muchísimo
(8) Me gusta mucho
(7) Me gusta
(6) Me gusta un poco
(5) Ni me gusta ni me disgusta
(4) Me disgusta un poco
(3) Me disgusta
(2) Me disgusta mucho
(1) Me disgusta muchísimo

1.10.3 Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación son ampliamente usadas en evaluación sensorial, y su objetivo es conocer que tanto se prefiere un producto con respecto a otros o con respecto a la competencia. El estudio se realiza con la ayuda de un cuestionario. En los estudios de aceptación se pueden medir un set de productos y preguntar por la aceptación de una serie de atributos de producto y empaque. (Severiano, et al., 2016).

Capítulo 2: Materiales y Metodología

2.1 Materiales:

2.1.1 Harinas

Se utilizó una harina correspondiente al grupo de los cereales (A) y dos correspondientes al grupo de las leguminosas (B y C); para su selección se realizó una búsqueda bibliográfica en la *Base de Datos de Nutrimientos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés, 2016)*, con el fin de obtener el Análisis Químico Proximal para diferentes granos de cereales, leguminosas y otros granos (*Anexo 1, Tabla 17*). Los aminoácidos son el nutrimento más importante para pacientes bariátricos, ya que les permite mantener la masa magra muscular; por ello, se eligieron los granos con alto contenido proteínico y bajo contenido lipídico, en comparación con otros granos propuestos (cebada, cacahuete, nuez, entre otros). De manera análoga, las dietas bariátricas deben ser hipoenérgicas, por lo que también se eligieron las harinas con bajo aporte energético. Asimismo, se tomó en cuenta que los granos fueran comerciales y de bajo costo.

2.1.2 Leche descremada

Se eligió a la leche descremada Lala® como matriz líquida para la suspensión de las harinas. Dicha matriz ofrece un contenido menor de lípidos (10 g/L) en comparación con la leche entera (30 g/L), además de contener 31.2 g/L de proteína. La leche posee una densidad energética elevada; el aporte de proteína de alta calidad es también elevado, además de ser una fuente importante de algunos nutrimentos inorgánicos y vitaminas como calcio, fósforo y riboflavina. Diversos estudios (Lisker, et al., 1974; Cifuentes, et al., 1985) en diferentes regiones de México han mostrado que la deficiencia de lactasa y la intolerancia a la lactosa no constituyen un problema que limite de manera significativa el consumo de leche en México; por lo tanto, el uso de la leche en programas de asistencia social no debe limitarse con base en la existencia de intolerancia a la lactosa (Rosado, et al., 1999).

2.1.3 Goma Indica "C"

La goma fue adquirida a través de *Gomas Naturales S.A. de C.V.* Se utilizó goma indica "C" para poder dispersar las harinas en la matriz líquida y como consecuencia lograr la homogeneización del producto. Es una mezcla funcional de hidrocoloides de alto peso molecular, y proporciona las siguientes funciones: suspensión de sólidos, proporciona cuerpo y palatabilidad, es estable en pH ácido, aumenta la vida de anaquel, imparte brillo, evita el endurecimiento de los productos y retarda la cristalización de hidratos de carbono.

2.1.4 Cocoa

Con el fin de impartir sabor chocolate al suplemento desarrollado, y mejorar las características sensoriales, se agregó cocoa en polvo.

2.1.5 Edulcorantes

Para impartir dulzor a los suplementos se utilizaron a diferentes concentraciones de Estevia® (1600 mg/kg y 2500 mg/kg) y Splenda® (1200 mg/kg y 2400 mg/kg) con respecto al *Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias (2012)*.

2.2 Metodología

2.2.1 Estrategia experimental

La estrategia experimental del presente proyecto se presenta en la (Figura 1). Fue dividida en tres etapas: harinas, formulación y suplemento. Cada etapa menciona los experimentos involucrados.



Figura 1 Diagrama general de la estrategia experimental.

2.3 Harinas

2.3.1 Proceso de obtención

Para la harina A, se limpiaron y se seleccionaron los granos, se tostaron durante 15 min (150-175°C). Los granos se enfriaron a temperatura ambiente y finalmente se molieron en seco. Posteriormente, la harina obtenida se tamizó en dos mallas: #35 con 0.5 mm de abertura y maya #40 con 0.420 mm de abertura.

Las harinas B y C se obtuvieron a través del siguiente proceso: se llevó a cabo un remojo durante 9 horas de los granos, posteriormente se realizó una cocción durante 30 min a 121°C, seguida de una molienda húmeda. La harina obtenida se secó a una temperatura de 60°C y se sometió a una molienda en seco (*Imagen 4*). Con el fin de obtener un mismo tamaño de partícula, las harinas se tamizaron en dos tamices: malla #35 con 0.5 mm de abertura y maya #40 con 0.420 mm de abertura.



Imagen 4. Sistema de molienda y tamizado.

2.3.2 Determinación de humedad

Se realizó por el método de secado en estufa con modificación en la NMX-F-083-1986, el cual se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación de agua. A través de una estufa y la balanza analítica se realizó la determinación, que consistió en lo siguiente: se pesaron 2 g de cada harina en pesafiltros previamente secados y a peso constante, se secó en la estufa a durante 3 horas a 100°C, se enfrió la muestra a través de un desecador y se pesó nuevamente. Para cada harina se determinó la humedad por triplicado.

2.3.3 Búsqueda de análisis químico proximal de harinas

Para cada harina se realizó una búsqueda bibliográfica con el fin de obtener valores sobre su Análisis Químico Proximal (AQP). Los datos fueron obtenidos de la *Base de Datos de Nutrientes para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés, 2016)* así como de Umaña, et al., 2005. Los datos del AQP fueron convertidos a base seca para cada harina; los valores obtenidos fueron empleados para el desarrollo de la formulación teórica del suplemento (aporte energético y nutrimental).

2.3.4 Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos se determinó a través del kit comercial AccQ Tag (Waters), que consiste en hidrolizar las muestras seguidas de la derivatización de los aminoácidos y del análisis de aminoácidos por HPLC (European Pharmacopoeia 7.0). Esta determinación sólo se realizó una vez.

2.3.5 Inhibidores de tripsina

Para el análisis del contenido de inhibidores de tripsina en las harinas B y C, se realizó una miniaturización del método espectrofotométrico y enzimático de inhibidores de tripsina reportado (Kakade, et al., 1974; Makkar, et al., 2007; Komklao, et al., 2011). El método está basado en la producción de *p*-nitroanilina (compuesto color amarillo) por el rompimiento del sustrato N- α -benzoil-DL-arginina-*p*-nitroanilida (BAPNA) en presencia de tripsina, cuya absorbancia se mide a una longitud de onda de 410 nm después de haber una incubación a 37°C durante 15 min (Figura 2).

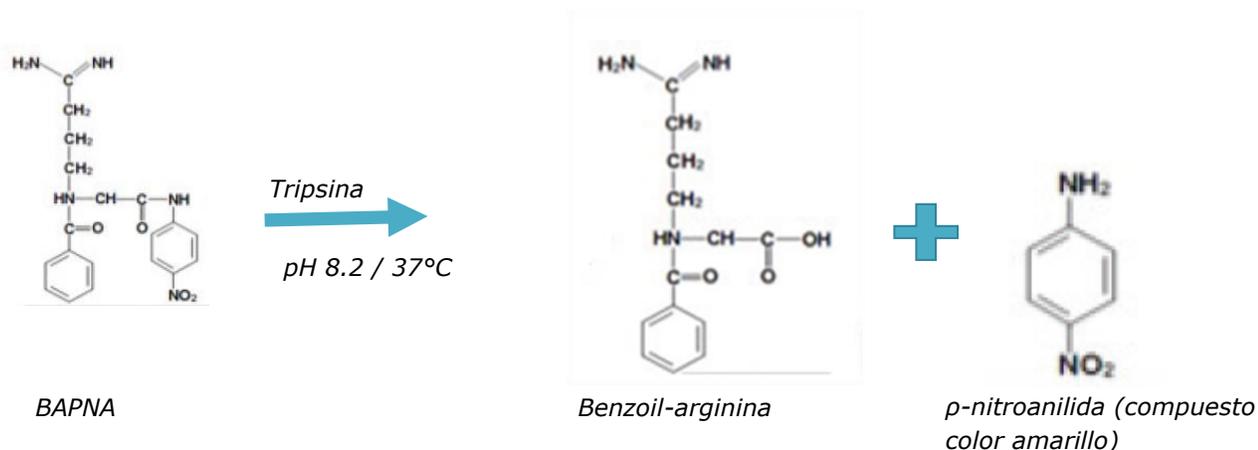


Figura 2. Hidrólisis de BAPNA con Tripsina

Para la determinación se prepararon las siguientes soluciones:

Solución de trabajo: Se pesaron 1.21 g de Tris (hidroximetil) aminometano (0.05 M), 0.44 g CaCl₂, se disolvieron en agua destilada. El pH se ajustó a 8.2.

Solución de tripsina: Se pesaron 4 mg de tripsina y se disolvieron en 200 mL de HCl 0.001 M.

Solución de BAPNA: Se pesaron 4 mg de N- α -benzoil-DL-arginina-*p*-nitroanilida (BAPNA) los cuales se disolvieron en 250 μ L de dimetil sulfóxido (DMSO), y se diluyeron en 10 mL de solución trabajo precalentada (37°C).

La Figura 3., muestra la metodología llevada a cabo para la determinación.

*Extracción
de
proteínas*

- ❖ Se pesaron 500 mg de harina B (cruda, cocida y cocida -tostada) y C (cruda y cocida) en matraces Erlenmeyer de 125 mL. Se agregó 25 mL de NaOH (0.01N) y se ajustó pH entre 9.5-9.8.
- ❖ Los matraces se incubaron durante 3 horas a 37°C en agitación (200 rpm).
- ❖ Se recuperaron fracciones del extracto en tubos Eppendorf (1000 µL), y se centrifugó durante 10 min a 10,000 g. Posteriormente se recolectó la fracción acuosa.
*Para cada muestra se realizaron mínimo 3 extracciones independientes.

*Determinación
de la actividad
del inhibidor de
tripsina*

- ❖ Se realizaron las siguientes diluciones en tubos Eppendorf (1000 µL): C crudo 0.5/10, C cocido 7/10, B cruda 0.5/10, B cocida 9/10, y B cocida - tostada 7/10.
- ❖ En una microplaca de 96 pozos con fondo plano y estériles (Corning, USA), se vaciaron por triplicado las siguientes alícuotas de las diluciones: 100 µL, 80 µL, 60 µL, 40 µL 20 µL y 10 µL, y se completó el volumen a 100 µL con la solución trabajo.
- ❖ A cada pozo se le agregaron 50µL de la solución de tripsina; la placa se incubó durante 10 min a temperatura ambiente.
- ❖ Posteriormente, se agregaron 50 µL de la solución de BAPNA y se incubó a 37°C durante 15 min.
- ❖ Para cada ensayo fueron utilizados un blanco de muestra, un blanco de reacción y un estándar de reacción, que consistieron de:
Blanco de muestra: Alícuotas de las diluciones (100 µL, 80 µL, 60 µL, 40 µL 20 µL y 10 µL), se completó el volumen a 100 µL con solución de trabajo, y se agregaron 50 µL de ácido acético al 30% y 50 µL de BAPNA.
Blanco de reacción: 50 µL de solución trabajo, 50 µL de ácido acético al 30%, 50 µL de la solución de tripsina y 50 µL de BAPNA.
Estándar de reacción: 100 µL de la solución trabajo, 50 µL de la solución de tripsina y 50 µL de BAPNA.
Fueron incubados a las mismas condiciones ya mencionadas.
- ❖ Finalmente, las placas fueron leídas en un espectrofotómetro (Epoch, Biotek), a una longitud de onda de 410 nm

Figura 3. Metodología determinación de inhibidores de tripsina.

2.4 Formulación

2.4.1 Diseño de mezcla y cálculo del aporte energético y nutrimental teórico

Se realizó el diseño de mezclas y se obtuvieron 7 propuestas. Con las siete propuestas de mezclas, se calculó el aporte energético y nutrimental en base seca, utilizando los datos de la caracterización química previamente realizada, misma que fue comparada con el Análisis Químico Proximal de la formulación final, la cual se menciona más adelante.

2.4.2 Pruebas de dispersión

Se utilizó goma indica "C" para lograr la dispersión de las harinas, y como consecuencia la homogeneización de los suplementos. Para definir la concentración de goma a utilizar se utilizó la formulación 1, probando diferentes concentraciones de goma: 0.15% p/p, 0.30% p/p, 0.50% p/p y 0.60% p/p, posteriormente la concentración elegida (0.30 %) se probó en las siete formulaciones, verificando la correcta dispersión de las harinas. El procedimiento fue el siguiente: se pesaron las harinas, la goma indica "C" y la leche por separado, posteriormente se juntaron los sólidos (harina y goma) y se homogeneizaron. En un vaso de precipitado, se realizó la mezcla incorporando poco a poco los sólidos con la leche, es decir, se vertía un poco de la mezcla de sólidos con un poco de leche y se homogeneizaba, así hasta completar toda la mezcla.

2.4.3 Primera prueba sensorial: nivel de agrado en consumidores

La prueba de nivel de agrado fue realizada en el departamento de evaluación sensorial de la UAM Iztapalapa, con 36 consumidores. Fueron evaluadas las 7 formulaciones para elegir aquellas con mayor nivel de agrado. Éstas fueron evaluadas por 36 personas a través de una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 es "me disgusta mucho" y el 9 "me gusta muchísimo" (*Imagen 5*). Los resultados obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza por el método ANOVA con un nivel de significancia de 95%, para conocer si las muestras eran iguales (hipótesis nula) o diferentes (hipótesis alterna), posteriormente se realizó la prueba Tukey. El cuestionario utilizado se muestra en el *Anexo 4*.



Imagen 5. Consumidores evaluando

2.5 Suplemento

2.5.1 Reformulación: incorporación de cocoa y edulcorantes

Con la prueba realizada en la sección 2.4.2, se seleccionó una formulación a la cual se le incorporó cocoa y edulcorantes en dos concentraciones diferentes (*Tabla 4*), tomando como referencia los límites máximos de glucósidos de esteviol y sucralosa para suplementos alimenticios, reportados en el *Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos y bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias, 2012*.

Tabla 4. Connotaciones utilizadas para edulcorantes.

Edulcorante (mg/kg)	Connotación
Estevia 1600	E16
Estevia 2500	E25
Splenda 1200	S12
Splenda 2400	S24

2.5.2 Pruebas de sedimentación

Debido a que no se encontró ninguna metodología en la literatura para determinar la efectividad del hidrocoloide utilizado, se desarrolló la siguiente técnica: (*Figura 4*) la prueba se realizó para las tres formulaciones con mayor nivel de agrado (1,6 y 7) de acuerdo con los resultados obtenidos en la primera prueba sensorial. La prueba se realizó por triplicado para cada formulación (con hidrocoloide y sin hidrocoloide). Se reportó el promedio de las determinaciones con el porcentaje de disminución del sedimento, el cual se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de sedimentación} = \frac{g \text{ sedimento seco}}{g \text{ suplemento (harinas + goma + cocoa + edulcorante + leche)}} * 100$$



- ❖ Se resuspendieron 6.5 g de suplemento en tubos de centrífuga (15 mL) **CON** hidrocoloide y **SIN** HIDROCOLOIDE, por triplicado
- ❖ Se centrifugó durante 1 min a 500 rpm
- ❖ Únicamente los tubos con formación de sedimento se filtraron al vacío y el sedimento se secó en estufa durante 24 horas a 100 °C, para posteriormente ser pesado.

Figura 4. Metodología prueba de sedimentación.

2.5.3 Caracterización reológica

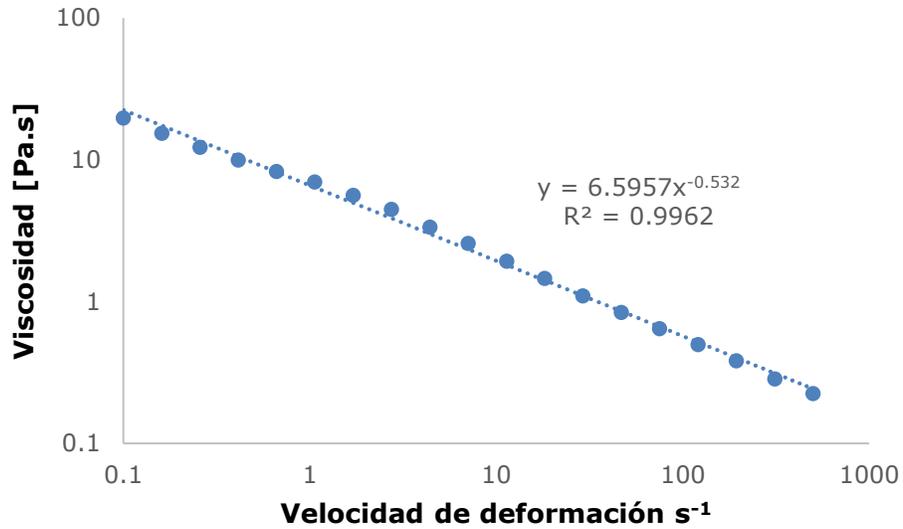
La caracterización reológica se realizó con el reómetro de esfuerzo controlado *Anton Paar Physica Austria* MCR101 a 25°C, utilizando la configuración de cilindros concéntricos. Los datos se analizaron con el software Rheopus 3.5 ®. Se obtuvieron por duplicado curvas de amplitud, frecuencia y flujo para cada muestra, mostrando datos consistentes para ambas determinaciones. Se analizaron todos los resultados en conjunto, presentando las gráficas de las siete formulaciones en el *Anexo 5 (Figuras 6-19)* con y sin hidrocoloide, mientras que en la sección de resultados, se presenta sólo la caracterización de la formulación 1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide (0.1 %, 0.3 %, 0.5 % y 0.6 %). Para cada muestra se obtuvieron las curvas de flujo, con las que se determinó tipo de comportamiento y de fluido. Las mediciones de corte se evaluaron en función de la velocidad de deformación en el intervalo de 0.1 a 100 s⁻¹. Los datos experimentales se ajustaron el modelo de ley de potencia, el cual se describe con la siguiente ecuación:

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

Donde η es la viscosidad de corte (Pa·s), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación (s⁻¹), K es el índice de consistencia (Pa·sⁿ) y n es el índice de comportamiento del fluido (adimensional), ver como ejemplo la *Gráfica 1*.

Por otra parte, las pruebas dinámicas se realizaron mediante experimentos de corte oscilatorios, con una configuración de cilindros concéntricos (CC27/T200) por duplicado. Se obtuvieron los comportamientos dinámicos en la región viscoelástica lineal con el intervalo de frecuencia angular de 0.1 a 100 s⁻¹. La presencia y comportamiento de las componentes elástica o módulo de almacenamiento (G') y del componente viscoso o módulo de pérdida (G''), señala la resistencia del material a la deformación y su habilidad para recuperar su configuración original. Asimismo, se calculó el módulo complejo (G^*) a partir de las curvas de amplitud y se calculó la $\tan \delta$ (cociente entre el módulo viscoso y el módulo elástico) a partir de las curvas de frecuencia, con la finalidad de determinar tanto la estabilidad como las características de dureza y rigidez del gel formado en las formulaciones.

Se realizó un análisis estadístico tipo ANOVA de una vía con intervalo de confianza de 5% ($\alpha=0.05$) con el software *XLSTAT 2017*. Este análisis permitió determinar las diferencias entre las propiedades reológicas de corte y dinámicas de las formulaciones. Para aquellas muestras donde hubo diferencia, se realizó también la prueba de Tukey.



Gráfica 1. Curva de flujo para formulación 1 con 0.1 % de hidrocoloide.

Ejemplo para obtener K y n: Ley de potencia: $\eta = K \dot{\gamma}^{n-1} = 6.596\dot{\gamma}^{-0.532}$

La *Tabla 5*, muestra las connotaciones utilizadas para cada muestra

Tabla 5. Connotaciones utilizadas en prueba reológica.

Formulación	Sin Hidrocoloide	Con Hidrocoloide
1	F1	F1H
2	F2	F2H
3	F3	F3H
4	F4	F4H
5	F5	F5H
6	F6	F6H
7	F7	F7H

2.5.4 Segunda prueba sensorial: nivel de agrado en consumidores.

La prueba de consumidores se realizó en el gimnasio de halterofilia (UNAM) con 100 deportistas de diferentes disciplinas, con preguntas filtro sobre si consumían o no suplementos alimenticios (*Imagen 6*). Se les presentó la formulación final del suplemento con las cuatro concentraciones de edulcorante elegidas previamente: E16, E25, S12 y S24. Se evaluó el nivel de agrado del producto en general, el sabor, el dulzor y la textura en una escala hedónica de 9 puntos. Los datos obtenidos fueron analizados a través del análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia de 95%. Posteriormente se realizó la prueba Tukey. En el Anexo 6 se muestra el cuestionario utilizado.



Imagen 6.Deportistas evaluando

2.5.4.1 Evaluación de emociones por medio de imágenes

Asimismo, fueron evaluadas las emociones que causaba al mismo grupo de consumidores el probar las muestras por medio de imágenes (*Imagen 7*), identificando la emoción generada (triste, me es indiferente, alegre, fuerte, incómodo, con energía); con los resultados obtenidos se calcularon las frecuencias para cada emoción. Asimismo, se incluyeron preguntas abiertas para conocer en general la frecuencia de consumo de suplementos alimenticios, el gasto mensual y la marca de suplemento que consumían; los resultados fueron analizados a través de frecuencias.



Imagen 7. Evaluación de emociones

2.5.6 Caracterización bromatológica: análisis químico proximal

Finalmente, a la formulación con mayor nivel de agrado, se le realizó el Análisis Químico Proximal (AQP) de acuerdo al Método AOAC 1990.

Capítulo 3: Resultados

3.1 Harinas

3.1.1 Proceso de obtención

Se obtuvieron cerca de 2 kg de cada harina en el sistema de molienda y tamizado. El sistema de molienda tiene una pérdida del 3 % aproximadamente; se infiere que la mayor parte de las pérdidas son los sólidos retenidos en los tamices, así como partículas que quedaron dentro del sistema. De acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996, las harinas deben estar exentas de materia y olores extraños por lo que se realizó una inspección visual y olfativa; ninguna de las harinas presentó materia extraña ni aromas extraños. La *Imagen 8*, muestra las harinas obtenidas.



Imagen 8. Harinas: A, B y C.

3.1.2 Determinación del contenido de humedad

En la *Tabla 6*, se muestran los resultados obtenidos en la determinación de humedad para las diferentes harinas; de acuerdo con la NOM-147-SSA1-1996, todas las harinas están dentro del límite máximo permitido (15%). Es importante que este límite no se rebase, de lo contrario se favorece el crecimiento de hongos e insectos en las harinas.

Tabla 6. Resultados de la determinación de humedad en las harinas.

Harina	% Humedad (Promedio)
A	4.34±0.6
B	2.93±0.2
C	3.15±0.1

3.1.3 Análisis químico proximal (teórico)

En la *Tabla 7* se muestra la composición bromatológica en base seca para cada harina. En general, las harinas B y C presentaron un contenido proteínico mayor 26.09 y 25.18 g/100 g, respectivamente en comparación con la harina A (16.03 g/100 g), asimismo, su contenido lipídico es bajo (1.033 y 0.435 g/100 g). La harina A presentó el mayor contenido lipídico (9.97 g /100 g); sin embargo, no se consideró como de alto impacto para la formulación. El mayor componente para las tres harinas fueron los hidratos de carbono (69.53 – 71.84 g/100 g), pues en general los cereales y las leguminosas se caracterizan por ser fuentes importantes de energía en forma de hidratos de carbono, almidón y fibras (Umaña, et al., 2005). Las tres harinas presentaron un contenido alto de cenizas (2.15 – 4.85 g/100g), indicando que son ricas en nutrimentos inorgánicos, importantes para la formulación del suplemento. Iqbal et al., (2005), mencionan que los cereales y las leguminosas pueden cubrir los requerimientos de nutrimentos inorgánicos diarios para los humanos; sin embargo, si existe un exceso de algún nutrimento inorgánico, puede ser antagonista para los demás, ya que no se absorben ni se utilizan de manera correcta.

Tabla 7.-Composición bromatológica de las harinas.

Análisis Químico Proximal (g/100 g de harina)				
Harina	Proteína	Lípidos	Hidratos de carbono	Cenizas
A	16.03	9.97	71.84	2.15
B	26.09	1.033	69.74	3.132
C	25.18	0.435	69.53	4.855

Fuente: Harina A: Base de Datos de Nutrimentos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).
Harina C y B: Umaña, et al., 2005.

3.1.4 Perfil de aminoácidos

Con el fin de comparar los resultados obtenidos en el perfil de aminoácidos, se realizó una búsqueda bibliográfica en la Base de Datos de Nutrientes para Estándares de referencia del *Departamento de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés, 2016)* sobre el contenido de aminoácidos de los granos y semillas crudos, así como de los mismos pero con tratamiento térmico. En el *Anexo 2 – Tabla 16*, se muestran los valores obtenidos en la determinación, así como los valores correspondientes a la búsqueda bibliográfica. Para el caso del cereal A, sólo se encontraron datos correspondientes al grano y a la harina; para las leguminosas B y C solo se reportaron los aminogramas de las semillas crudas y con tratamiento térmico (cocidas – hervidas).

En el cereal A se observó que el mayor contenido de aminoácidos se reportaron en el grano crudo. Para la harina A experimental se observó un porcentaje promedio de disminución de aminoácidos de 40 % respecto al grano crudo; esta disminución se atribuyó al procesamiento del cereal, ya que en la molienda se pierde la mayor cantidad del germen y las capas externas del grano entero, por lo que hay una disminución de aminoácidos, nutrientes inorgánicos y vitaminas (Departamento de Agricultura, FAO, 2017). Entre la harina A experimental y teórica, se observaron diferencias en el contenido de los siguientes aminoácidos, siendo mayores en la harina experimental: treonina, lisina, tirosina, arginina, alanina, glicina y serina. Asimismo, los tres aminoácidos más abundantes en la harina A experimental fueron: arginina (1.350 g/100 g de proteína), serina (1.010 g/ 100 g de proteína) y glicina (0.920 g/100 g de proteína) (*Gráfica 2*).

Respecto al contenido de aminoácidos en las semillas de la leguminosa B sometidas a tratamiento térmico en comparación con las semillas crudas, se observó un porcentaje de disminución promedio en el contenido de aminoácidos de 63%; sin embargo, se observó un mayor porcentaje de disminución en el contenido de aminoácidos en la harina B experimental (70%) respecto a las semillas sometidas a tratamiento térmico. En la harina B se reportaron valores de 0 para los siguientes aminoácidos: treonina, isoleucina, metionina, cisteína. Asimismo, la harina B experimental presentó en mayor cantidad los siguientes aminoácidos respecto a la harina B teórica: leucina, lisina, histidina, alanina, ácido glutámico y prolina; siendo los tres más abundantes: el ácido glutámico (11.250 g/100 g de proteína), la histidina (1.090 g/100 g de proteína) y la lisina (1.080 g/100 g de proteína) (*Gráfica 2*).

De acuerdo con Casanueva *et al.* 2001, las proteínas de las leguminosas son deficientes en los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína); sin embargo, para

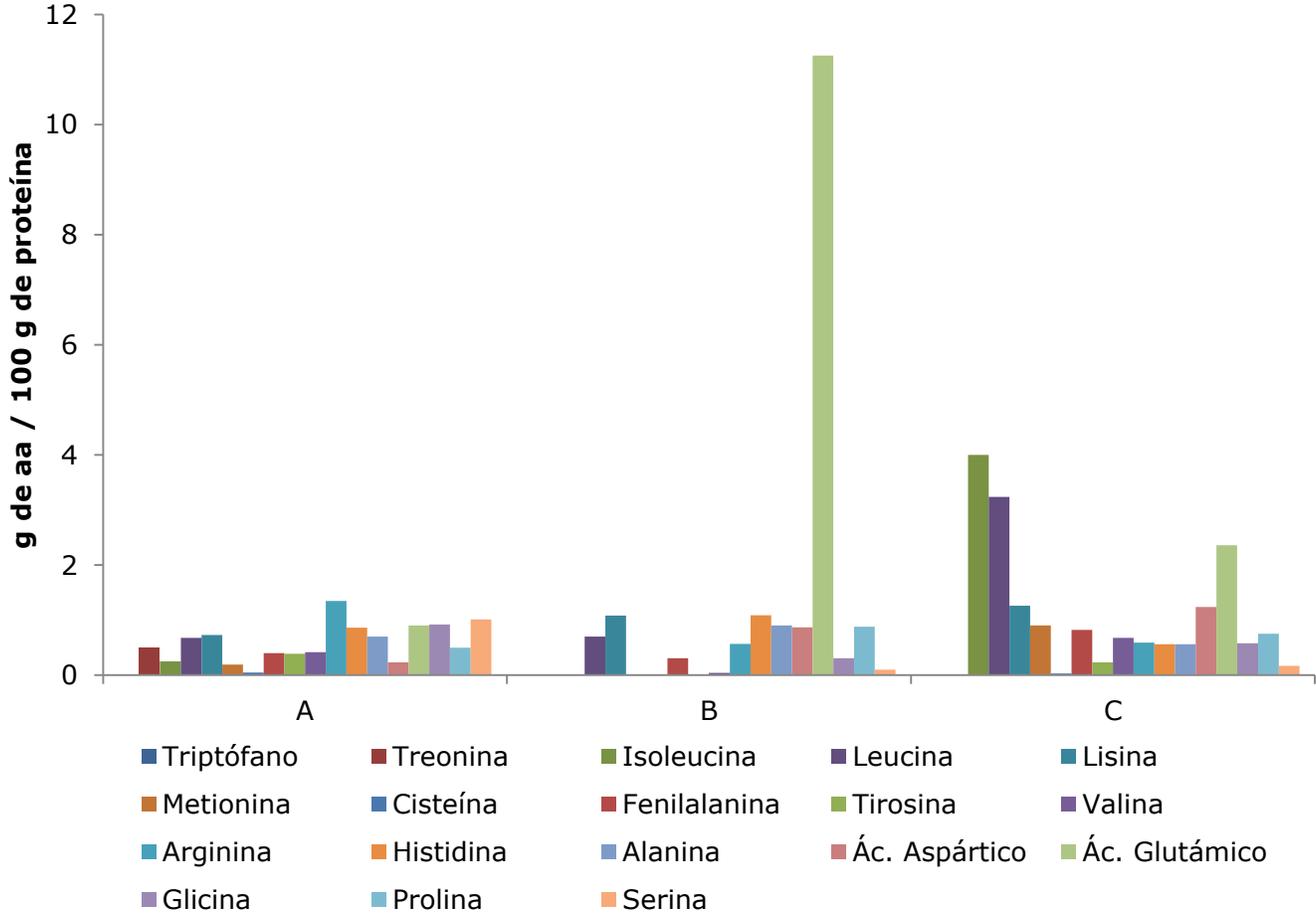
el caso de la harina B experimental, la reducción en el contenido de aminoácidos (treonina, isoleucina, tirosina, valina y serina) se atribuyó a un tratamiento térmico excesivo de las semillas al momento de haber sido procesadas.

Por otro lado, en el caso de la leguminosa C con tratamiento térmico se observó un porcentaje de disminución en el contenido de aminoácidos del 60 % en relación a la semilla cruda. Para el caso del contenido de aminoácidos en la harina C experimental se observó un porcentaje de disminución promedio de 73 % en relación a las semillas con tratamiento térmico; sin embargo, esta disminución sólo se observó en los siguientes aminoácidos: treonina, cisteína, tirosina y serina. Caso contrario sucedió con los demás aminoácidos (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, valina, arginina, histidina, alanina, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina y prolina) al presentar un porcentaje de incremento en el contenido de aminoácidos del 63 % en relación con las semillas sometidas a tratamiento térmico. Asimismo, los tres aminoácidos más abundantes para la harina C fueron: isoleucina (4 g/ 100 de aminoácido), leucina (3.24 g/100 g de aminoácido) y ácido glutámico (2.36 g/100 g de aminoácido).

De acuerdo a Litchford (2010), los pacientes bariátricos tienen deficiencias principalmente en los aminoácidos esenciales por lo que el aporte de éstos resulta especialmente importante. Las proteínas de las leguminosas se caracterizan por tener un alto contenido de la mayoría de aminoácidos esenciales, lo que las vuelve una opción para estos pacientes. (Bolaños, et al., 2003). Los aminogramas experimentales mostraron que las harinas B y C presentaron una deficiencia en treonina; la harina A puede aportar este aminoácido. Un efecto similar sucede con la harina B, en la que se encontró deficiencia en metionina e isoleucina, aminoácidos que están presentes en las harinas A y C. Un aminoácido que puede ser importante es la leucina ya que se ha demostrado que favorece el mantenimiento de la masa muscular, al estimular la síntesis de proteína en el músculo. La recomendación de consumo de leucina para pacientes bariátricos es de 10 g/día (Leite Faria, et al., 2011). Al mezclar las tres harinas se lograría un aporte aproximado de 4.62 g de leucina/100 g de proteína; sin embargo, el valor aumentaría al adicionar la leche descremada.

Casanueva, *et al.*, 2001 mencionan que al mezclar cereales y leguminosas opera una corrección de las limitaciones de los aminoácidos limitantes en cada alimento, ya que los cereales tienen cierto exceso de aminoácidos azufrados y las leguminosas poseen cierta abundancia de lisina y triptófano; sin embargo, se logra una mejor complementación al variar las proporciones de los ingredientes. En el caso particular de esta mezcla, no se observó un exceso de aminoácidos azufrados

en la harina A correspondiente al cereal, ni de lisina en el caso de las harinas de leguminosas (B y C). Cabe resaltar que en el análisis experimental no se determinó el contenido de triptófano para ninguna de las harinas debido a que la hidrólisis ácida llevada a cabo previa a la determinación destruye por oxidación al triptófano; asimismo, esta destrucción puede acelerarse por acción del calor, por lo que deben ser identificados y cuantificados con técnicas adicionales (Bradley, et al., 1982). Algunas técnicas utilizadas para la identificación de dicho aminoácido son: la técnica por fluorescencia reportada por Zhang, et. al., 2017, la técnica colorimétrica reportada por Mahaboob, et. al., 1976 y la técnica espectrofotométrica reportada por Madrid (1975).



Gráfica 2. Perfil de aminoácidos de las tres harinas (g/100 g proteína).

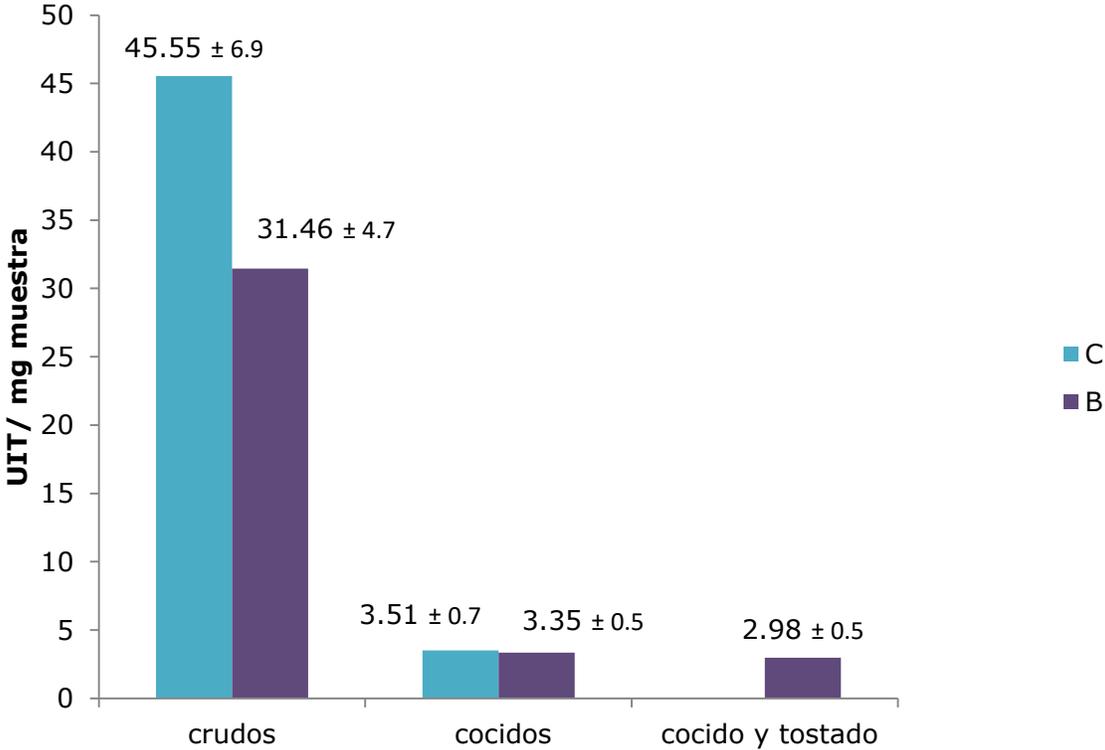
3.1.4 Determinación de inhibidores de tripsina

La *Gráfica 3*, muestra una comparación de la actividad de los inhibidores de tripsina que fue determinada en las dos harinas de leguminosas empleadas, sin tratamiento y con tratamiento térmico. En el *Anexo 3-Tablas 17, 18 y 19* se muestran los resultados obtenidos, así como un ejemplo del tratamiento de datos (*Anexo 3 – Gráfica 22*).

Para el caso de la harina C cruda, el valor promedio obtenido fue de 45.55 ± 6.86 UIT/ mg de muestra, dicho valor es alto respecto a 16.55 UIT mg^{-1} de muestra que reportó López Barrera (2011); la diferencia puede atribuirse a la variedad de C utilizada en cada ensayo. Para el presente trabajo se utilizó C negro aunque se desconoce la variedad que se estudió. Por otro lado, el valor promedio obtenido para la harina C cocida fue de 3.51 ± 0.67 UIT mg^{-1} de muestra con un porcentaje de disminución de 92.30 % respecto a la harina C cruda; con ello se infirió que el tratamiento aplicado a la harina utilizada en el suplemento fue el correcto. Los inhibidores de tripsina se inactivan total o casi totalmente por tratamiento térmico debido a que las proteínas son termosensibles; sin embargo, el grado de inhibición depende de la temperatura, el tiempo, el volumen del alimento así como de su contenido de agua (García, 2014). Para el caso de la harina B cruda, el valor promedio obtenido fue de 31.46 ± 4.74 UIT mg^{-1} de muestra; sin embargo Guillamón, et al. (2008), y Pisulewska y Pisulewski (2000) reportaron valores entre 3 y 8 UIT mg^{-1} de muestra; de forma similar a lo expuesto en el análisis de la harina C, esto podría atribuirse asociada a la variedad, especie de las semillas, así como de la técnica de cultivo empleada. Para la harina B cocida y cocida-tostada, se obtuvieron los siguientes valores promedio: 3.35 y 2.98 UIT mg^{-1} de muestra, con 89.35 % y 90.52 % de disminución de los inhibidores. El tratamiento térmico fue el correcto, ya que los porcentajes de disminución fueron altos respecto a los valores obtenidos en las harinas crudas; sin embargo, dicho porcentaje no incrementó al aplicar un segundo tratamiento térmico, indicando que el cocimiento es suficiente para inactivar el mayor porcentaje de inhibidores de tripsina.

Gran parte de los alimentos de origen vegetal, presentan inhibidores de proteasas; sin embargo, es de destacar la amplia presencia de los inhibidores de tripsina en alimentos de origen vegetal, en donde la mayor proporción se manifiesta en la semilla (Valle, P. y Lucas, B., 2000). En el caso particular de este proyecto, se observó que el contenido de inhibidores de tripsina en las harinas crudas fue considerablemente mayor a las harinas que fueron tratadas térmicamente; un tratamiento térmico severo puede disminuir la calidad proteínica dietética, por lo

que es de suma importancia tener un control sobre el tiempo y la temperatura de cocimiento. Por otro lado, no existen valores reportados en los cuales los inhibidores de tripsina se consideren un riesgo para su consumo debido a la falta de normatividad que regule el contenido de los mismos; sin embargo, la inhibición de tripsina se ve reflejada en una hipertrofia pancreática en ratas. Nutricionalmente causan un retraso en el crecimiento o un índice bajo de la Eficiencia Proteica (PER), por lo que si los inhibidores de tripsina son inactivados térmicamente hace que el PER aumente (Valle, P. y Lucas, B., 2000).



Gráfica 3. Comparación de la actividad de inhibidor de tripsina de harina de B y C.

3.2 Formulación

3.2.1 Diseño de mezclas y cálculo de aporte energético y nutrimental teórico

El programa estadístico generó 7 propuestas diferentes de formulación con las tres harinas, variando entre ellas los porcentajes de adición. Con ello, se calculó el equivalente en gramos, estableciendo la adición de 30 g totales (mezcla de las tres harinas) y 120 g de leche descremada Lala ®, resultando una mezcla total de 150 g (sin considerar la adición de la goma). En general los pacientes post cirugía bariátrica no toleran volúmenes mayores a 240 mL en etapa 2 (papillas o puré) (Clínica de Obesidad, HGMGG). Asimismo, se calculó el aporte energético y nutrimental teórico de las siete formulaciones (*Tabla 8*), con el fin de verificar que cumplieran con las recomendaciones nutrimentales para el paciente bariátrico.

En general, los pacientes post quirúrgicos deben ingerir al día de 500 a 800 kcal; las siete propuestas de formulación cubren aproximadamente 400 kcal por 100 g de muestra, representando la mitad de la recomendación energética diaria requerida. Asimismo, es ideal que del total de 60 a 80 g de proteína que consumen diariamente los pacientes, 25 a 40 g provengan del suplemento; un total de 60 a 80 g de proteína es lo que consumen al día los pacientes (Clínica de Obesidad, HGMGG). Con las siete formulaciones propuestas, se logra un aporte de 33 g a 34 g de proteína por 100 g de suplemento consumido. Se debe tener especial cuidado en el contenido de lípidos, ya que este nutrimento se encarga de aportar la mayor cantidad de energía (9 kcal/g), asimismo, se desea que la mayoría de lípidos sean insaturados. En las 7 propuestas el contenido lipídico es bajo, ya que proveen de 2.4 a 3.5 g/100 g suplemento; mientras que en relación a los hidratos de carbono, las formulaciones proveen aproximadamente 62 g por cada 100 g de suplemento, y con respecto al contenido de cenizas éste se encuentra en el intervalo de 0.54 a 0.84 g/100 g de suplemento, significando un alto contenido de nutrimentos inorgánicos para las 7 propuestas de suplemento. Es importante mencionar que esta información se refiere a cálculos teóricos, por lo que es necesario verificar con el análisis químico proximal de la formulación final.

Tabla 8. Aporte energético y nutrimental de las siete propuestas de suplemento.

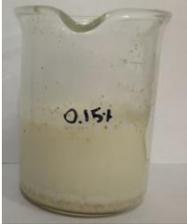
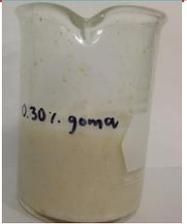
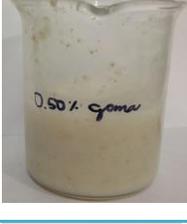
Aporte energético y nutrimental (g /100 g suplemento)					
Formulación	Energía (kcal)	Proteína	Lípidos	Hidratos de Carbono	Cenizas
1	414.07	33.35	3.51	62.27	0.54
2	410.14	34.05	2.83	62.11	0.68
3	408.72	34.46	2.53	62.04	0.65
4	408.18	34.41	2.49	62.03	0.74
5	410.85	33.85	2.98	62.14	0.69
6	407.64	34.36	2.46	62.02	0.84
7	411.39	33.90	3.02	62.15	0.59

Fuente: Harina A: Base de Datos de Nutrientes para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Harina B y C: Umaña, et al., 2005.

3.2.2 Pruebas de dispersión

Como se observa en la *Tabla 9*, la concentración de 0.15 % de goma indica "C" no logró dispersar completamente la mezcla de harinas en la formulación 1, ya que se observó sedimento en el fondo del vaso y los suplementos aún conservaban una consistencia líquida. La concentración de 0.30 % de goma logró dispersar completamente la mezcla de las harinas, no se observó sedimento en el fondo del vaso y la consistencia obtenida fue la de un fluido poco espeso, por lo que fue la concentración elegida. Al incrementar la concentración de goma a 0.50 % y 0.60 % se logró dispersar completamente a la formulación, no se observó sedimento, pero la muestra mostró una consistencia pastosa. Finalmente, la concentración elegida (0.30 %) logró dispersar a las 7 formulaciones de suplemento propuestas.

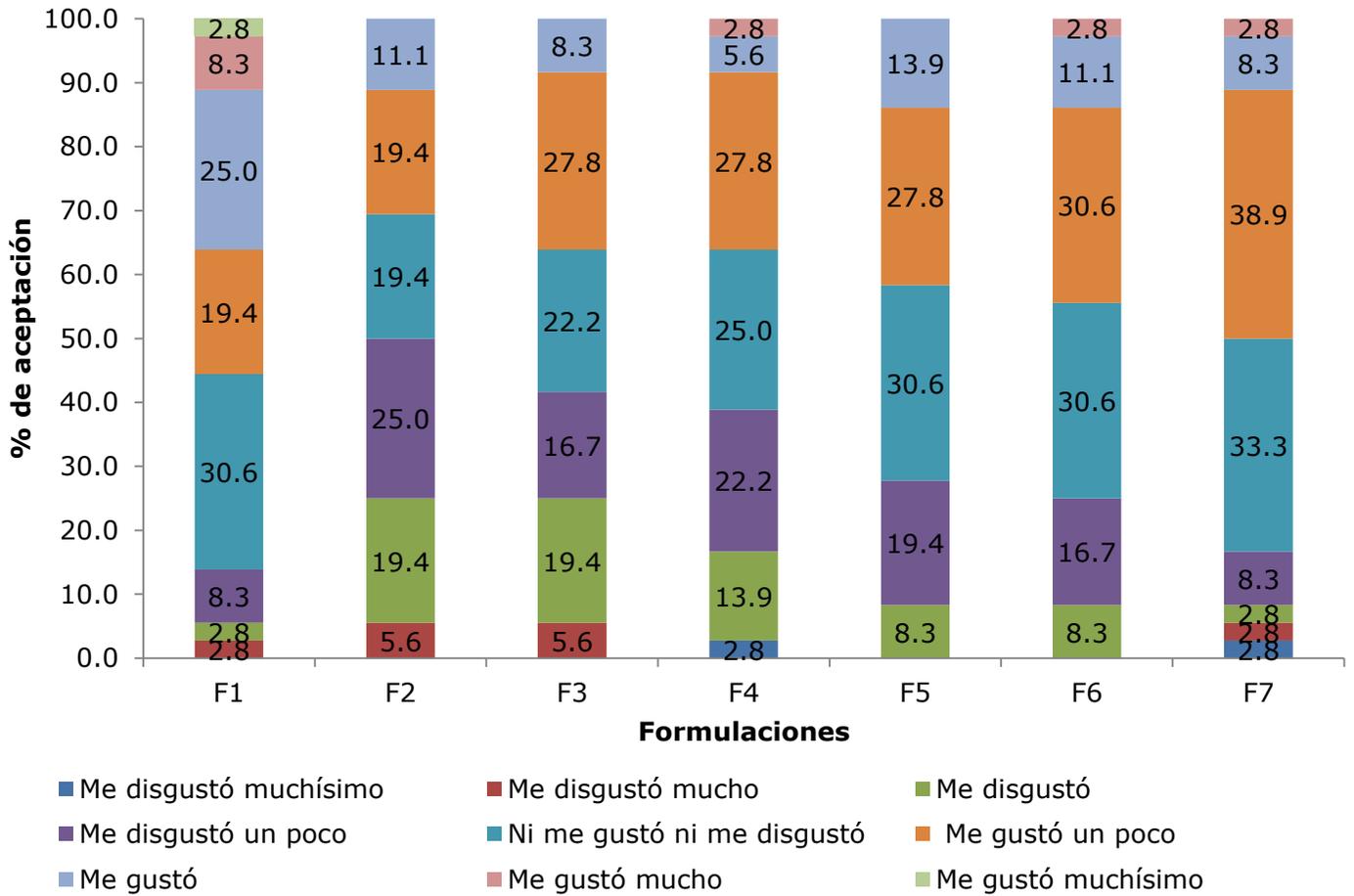
Tabla 9. Resultados prueba de dispersión con formulación 1.

	% goma	g goma	Imagen
Formulación 1	0.15	0.22	
	0.30	0.45	
	0.50	0.75	
	0.60	0.90	

3.2.3 Primera prueba sensorial: nivel de agrado con consumidores

Como se observa en la *Gráfica 4*, los porcentajes más altos (19.4-38.9 %) de las siete formulaciones se encuentran en los puntos 5 ("Ni me gustó ni me disgustó") y 6 ("Me gustó poco") de la escala hedónica, indicando que las formulaciones necesitaron mejorarse sensorialmente, ya que la calificación de las mismas fue baja, pues se obtuvieron los mayores porcentajes en los puntos intermedios de la escala hedónica, y no en los más altos como se deseaba. Debido a los resultados obtenidos, se incorporó cocoa y edulcorante a los suplementos, esperando aumentar el nivel de agrado. Las formulaciones que lograron obtener una puntuación mayor a 5 fueron las formulaciones: 1, 6 y 7, logrando alcanzar porcentajes de 8.3% en el punto 8 y 2.8% en el punto 9 de la escala para la formulación 1; 2.8% en el punto 8 de la escala para las formulaciones 6 y 7, por lo que fueron consideradas como las tres mejores formulaciones.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p menor a 0.05 (*Anexo 4 - Tabla 20*), por lo tanto las muestras fueron diferentes. Por otro lado, en la prueba Tukey (*Anexo 4, Tabla 21*), fueron generados dos grupos: A: 1,5, 6 y 7 y B: 7, 6, ,5 ,4, 3 y 2 los cuales determinaron que las muestras no tenían diferencia significativa, es decir, los consumidores evaluaron a estas formulaciones de igual manera; las muestras 5,6 y 7 pertenecieron a los dos grupos. Asimismo, las tres formulaciones con mayor nivel de agrado fueron: 1 ($\bar{x}=5.8$) ,6 ($\bar{x}=5.30$) y 7 ($\bar{x}=5.33$), debido a que tuvieron las medias más altas y por lo tanto las formulaciones: 2 ($\bar{x}=4.69$), 3 ($\bar{x}=4.80$) y 4 ($\bar{x}=4.83$), fueron las de menor nivel de agrado (*Anexo 4-Tabla 21*).



Gráfica 4. Gráfico de barras con tendencia general de la prueba: nivel de agrado.

3.3 Suplemento

3.3.1 Reformulación: incorporación de cocoa y edulcorantes

La *Tabla 10* muestra tanto en base húmeda como en base seca el cálculo teórico del aporte energético y nutrimental de la formulación 1; debido a que fue la formulación con la media más alta ($\bar{x}=5.8$) en la *sección 3.2.3*, por lo tanto se procedió con la incorporación de cocoa y edulcorante. Asimismo, fue ajustado el contenido de sólidos en el suplemento, aumentando a 34.38 g. En general, se observa un porcentaje de aumento de los nutrimentos de 1 a 2 %, por lo que siguen cumpliendo con los requerimientos nutrimentales que necesitan los pacientes post-cirugía bariátrica. Dicho análisis fue comparado con el análisis químico proximal determinado de manera experimental en la formulación final, que se menciona más adelante.

Tabla 10. Análisis químico proximal teórico de formulación 1.

	Base Húmeda (%)	Base Seca (%)
<i>Humedad</i>	71.38	0.00
<i>Energía (kcal)</i>	119.11	414.10
<i>Proteína</i>	6.38	32.55
<i>Lípidos</i>	1.64	3.57
<i>Hidratos de Carbono</i>	19.71	62.93
<i>Cenizas</i>	0.57	0.62

Fuente: *Harina A:* Base de Datos de Nutrimentos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).
Harina de B y C: Umaña, et al., 2005.

3.3.3 Pruebas de sedimentación

La prueba de sedimentación se realizó para las formulaciones 1,6 y 7, ya que fueron las tres formulaciones con mayor nivel de agrado en la primera prueba sensorial.

En la *Tabla 11* se puede observar que los porcentajes de sedimentación para las tres formulaciones (1,6 y 7) sin hidrocoloide estuvieron en un intervalo de 13.36 a 16.88 %. Experimentalmente, se observó la formación de sedimento después de homogeneizar las muestras (*Imagen 9*), el cual aumentó considerablemente después de centrifugar las muestras. En el caso de las formulaciones que contenían el hidrocoloide, sucedió lo contrario ya que no se observó la formación de sedimento después de someter las muestras a centrifugación (*Imagen 10*), comprobando así su efectividad. Por lo anterior, se corroboró que la concentración elegida para dispersar los sólidos en las formulaciones fue la correcta. Asimismo, de acuerdo con Boatella, et al. (2004), se esperó que con la adición del hidrocoloide, las formulaciones retardaran su envejecimiento, es decir, alargando la vida de anaquel de las formulaciones, debido a que los hidrocoloides también actúan como retenedores de humedad al tener la capacidad de absorber hasta 100 veces su peso en agua.

Tabla 11. Resultados prueba de sedimentación (con y sin hidrocoloide).

Formulación	n	% de sedimentación (sin hidrocoloide)	% de sedimentación (con hidrocoloide)	% de disminución de sedimentación
1	3	13.36 ± 0.95	0	100
6	3	16.88 ± 0.08	0	100
7	3	16.32 ± 0.06	0	100



Imagen 9. Sedimento formado sin adición de hidrocoloide.

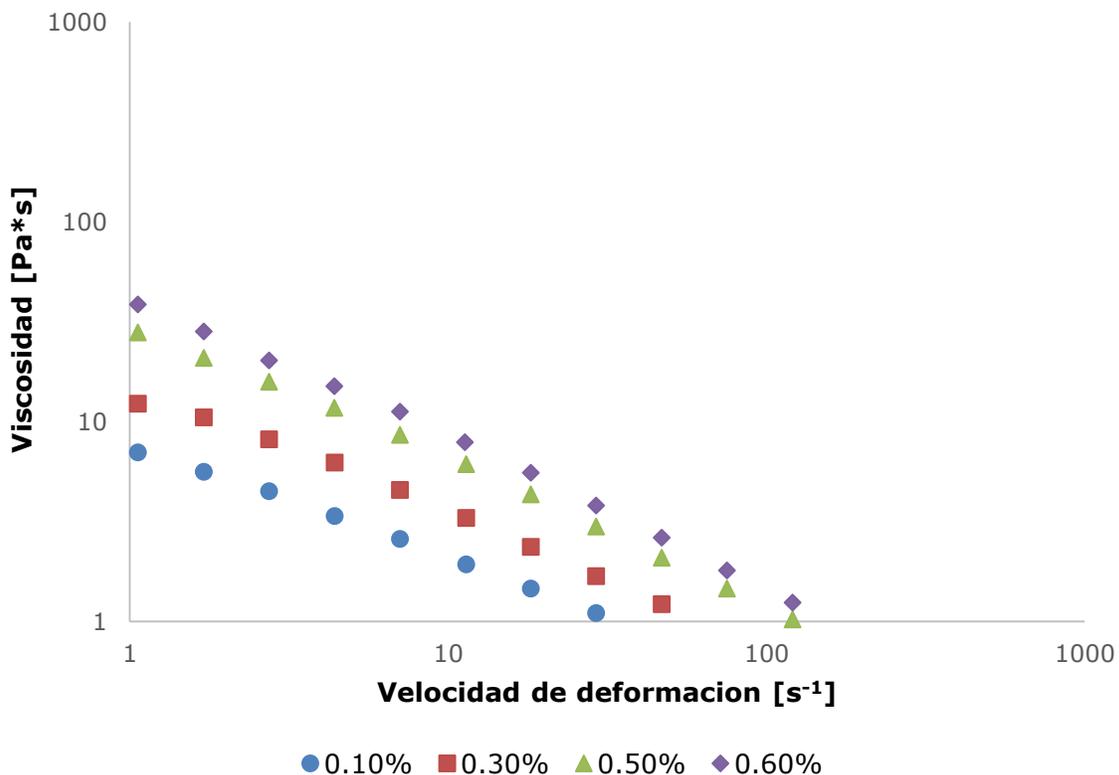


Imagen 10. Nula formación de sedimento con adición de hidrocoloide.

3.3.4 Caracterización reológica

Flujo

La *Gráfica 5*, muestra las curvas de flujo para la formulación 1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide utilizadas en la prueba de dispersión (0.1 %, 0.3 %, 0.5 % y 0.6 %). El comportamiento de las formulaciones es no newtoniano, de tipo pseudoplástico, es decir que la viscosidad cambia al variar la velocidad de deformación y fluidiza a mayor velocidad. A su vez, se observa que al aumentar la concentración de hidrocoloide, la viscosidad de la formulación también aumenta. En la prueba de dispersión, la concentración de 0.3% resultó ser la que mostró mejor estabilidad y con las curvas de viscosidad se corroboró que esta concentración permite dispersar todos los sólidos de la formulación sin conferir una consistencia rígida ni muy espesa, como en las concentraciones de 0.5 % y 0.6 % de hidrocoloide. Si bien se desea que la consistencia de la formulación sea lo más fluida posible y con la concentración de 0.1 % esto se lograba, el hidrocoloide no es suficiente para lograr la dispersión homogénea de los sólidos en la formulación.



Gráfica 5. Curvas de flujo: formulación 1 variando concentración de hidrocoloide.

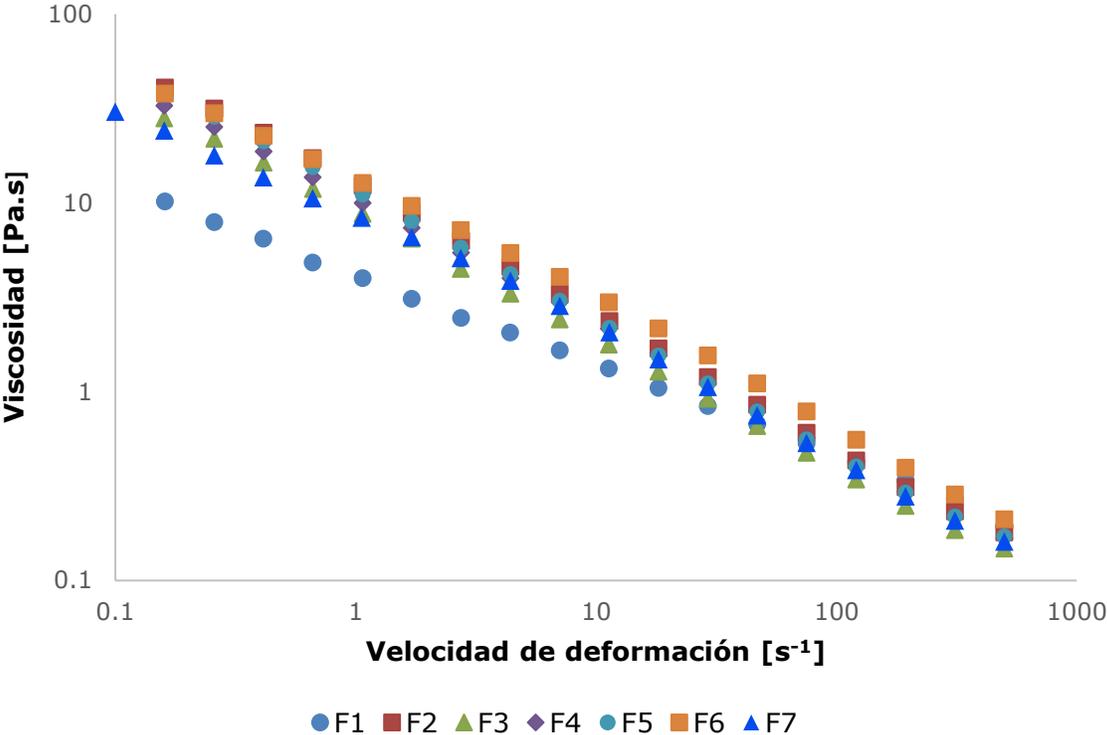
El modelo de la Ley de Potencia fue el que se ajustó mejor a los datos experimentales. El índice de flujo (n), señala qué tan pseudoplástico es el fluido;

entre más alejado de la unidad sea el valor, mas no-newtoniano es el comportamiento del fluido, mientras que el índice de consistencia (K) indica la consistencia del material, a valores mayores de K hay un aumento en la concentración de sólidos o la disminución del tamaño de las partículas, es decir, si el valor de K es alto, el fluido se considera más viscoso. En la *Tabla 12* se presentan los valores de n y K obtenidos para la formulación 1 con diferentes concentraciones del hidrocoloide. La formulación con 0.6 % de hidrocoloide presentó el índice de más pseudoplasticidad y el índice de consistencia más alto, volviendo más viscosa la formulación. El ANOVA determinó que existen diferencias significativas (*Anexo 5-Tabla 22*) mientras que la prueba Tukey (*Anexo 5-Tabla 23*) para el índice de flujo generó 2 grupos, en donde se observó que la formulación con 0.3 % de hidrocoloide, fue la única que perteneció a ambos grupos. Respecto a la prueba Tukey para el índice de consistencia (*Anexo 5-Tabla 25*), también se generaron dos grupos, en los cuales se encontró que las formulaciones con 0.5 % y 0.6 % eran iguales entre sí, mientras que las formulaciones de 0.1 % y 0.3 % no mostraron diferencia significativa entre sí.

Tabla 12. Valores promedio de n y K para formulación 1 variando concentración de goma.

% de goma	n (tamaño de muestra)	n (índice de flujo) promedio	K (índice de consistencia) promedio
0.1	3	0.46	6.84
0.3	3	0.36	14.26
0.5	3	0.29	31.32
0.6	3	0.26	39.52

Al evaluar el comportamiento de las 7 formulaciones (*Gráfica 6*), se observó que todas fueron fluidos pseudoplásticos; sin embargo, destacó la formulación 1, al ser la menos viscosa al presentar el menor índice de consistencia (4.193) (*Tabla 13*).



Gráfica 6. Curvas de flujo para las 7 formulaciones empleando 0.3 % de hidrocoloide

De acuerdo con los valores obtenidos de índice de flujo (n), la formulación 2 fue considerada como la más pseudoplástica, esto también se observó en la *Gráfica 6*, ya que fue la formulación con mayor viscosidad al inicio de la prueba. De igual manera, se observó que la viscosidad de las muestras cambia al ir aumentando la velocidad de deformación. El ANOVA para cada índice (*Anexo 5 - Tablas 26 y 28*), determinó que las muestras tenían diferencia significativa entre ellas y la prueba Tukey de índice de flujo (*Anexo 5 - Tabla 27*) generó dos grupos diferentes, en donde la F1H fue diferente a las demás formulaciones, ya que fue la única en el grupo A, todas las demás formulaciones fueron consideradas iguales entre ellas, al pertenecer al mismo grupo (B). La prueba Tukey para el índice de consistencia (*Anexo 5-Tabla 29*) generó 6 grupos diferentes, en donde se consideró que la F1H fue la formulación diferente con respecto a las demás perteneciendo a un solo grupo.

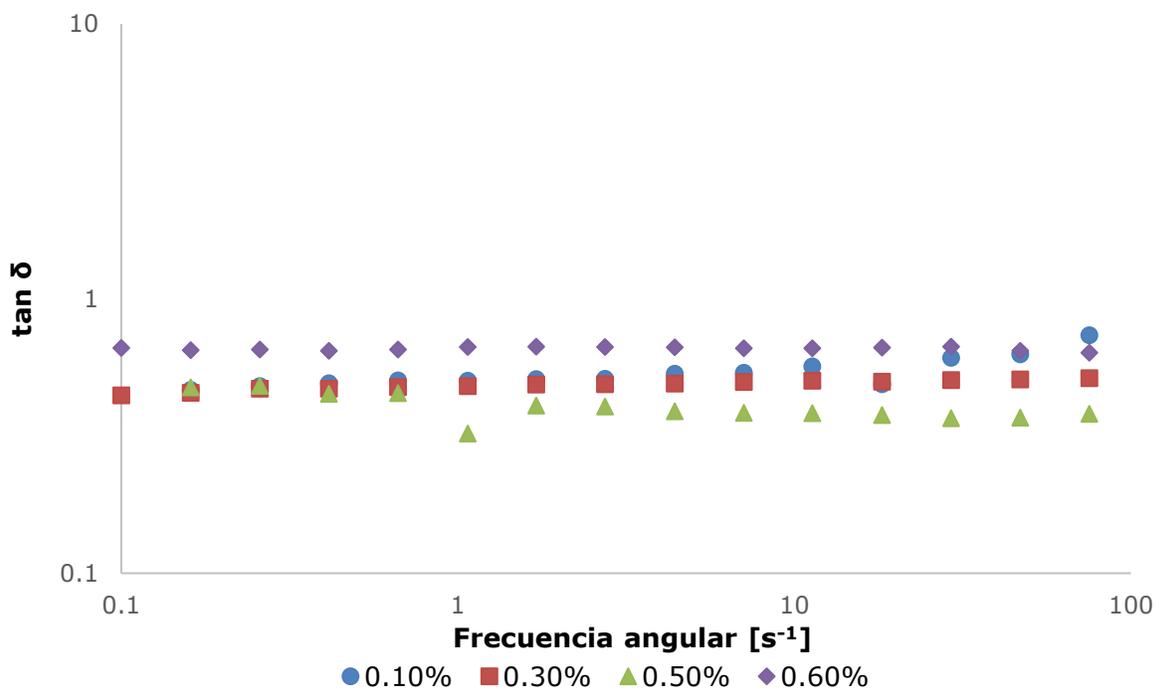
Tabla 13. Valores promedio de n y k para todas las formulaciones.

Formulación	n (tamaño de muestra)	n (índice de flujo) promedio	k (consistencia) promedio
1	3	0.52	4.19
2	3	0.31	12.42
3	3	0.33	8.46
4	3	0.33	10.39
5	3	0.31	11.37
6	3	0.34	13.24
7	3	0.35	9.16

Pruebas dinámicas

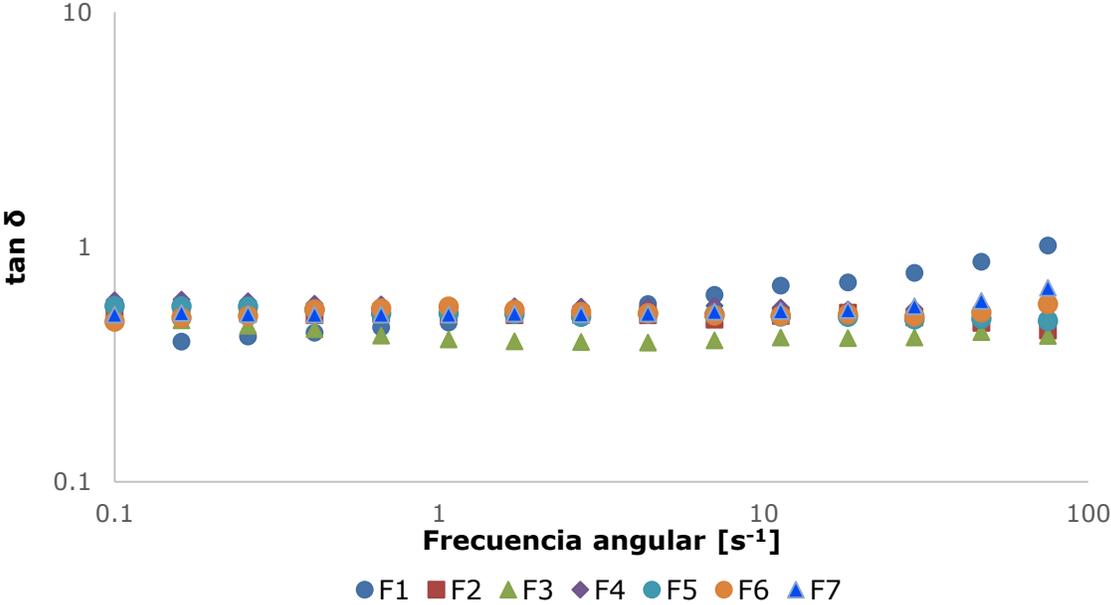
Las pruebas de amplitud se muestran en el *Anexo 5*, de donde se obtuvieron los comportamientos dinámicos en la región viscoelástica lineal. En todas las curvas de frecuencia, se observó que el módulo elástico (G') fue mayor al módulo viscoso (G''), por lo que todas las formulaciones presentaron elasticidad.

La *Gráfica 7* muestra las curvas de $\tan \delta$ para la formulación 1 a diferentes concentraciones del hidrocoloide. Se observó que la presencia del hidrocoloide favorece el entrecruzamiento de la mezcla, la estabiliza y el valor de $\tan \delta$ permanece relativamente constante para todos los casos. No obstante, la formulación con 0.30 % de hidrocoloide, fue la muestra con mayor estabilidad al no deformarse con el aumento de la frecuencia angular. La formulación con 0.6 % de hidrocoloide, también fue estable; sin embargo, confiere una consistencia muy dura. Las formulaciones con 0.10 y 0.50 % de hidrocoloide fueron inestables a lo largo de la prueba.



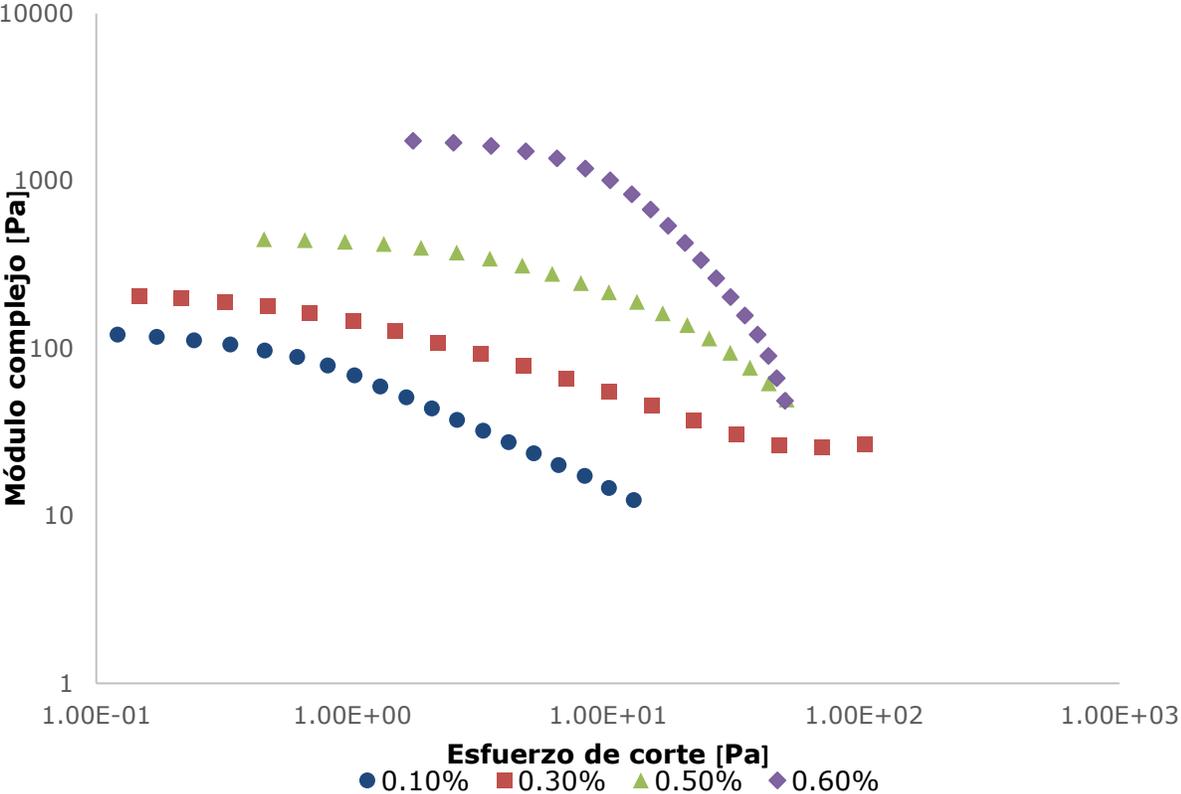
Gráfica 7. $\tan \delta$ para la formulación 1 variando concentración de hidrocoloide.

La *Gráfica 8* muestra las curvas de $\tan \delta$ para las formulaciones con 0.30 % de hidrocoloide. Las formulaciones se mezclaron de manera manual, es decir, la mezcla de sólidos se incorporó lentamente a leche con agitación a baja velocidad, que no ocasiona modificación en la viscosidad de las formulaciones. Sin embargo, si se utilizara otro dispositivo mecánico de mezclado con mayor potencia como una licuadora, podría afectar y variar la viscosidad de las formulaciones y a su vez la estabilidad. Las formulaciones: 2, 4, 5 y 6, fueron las más estables mientras que la formulación 3 no lo fue a lo largo del intervalo de frecuencia probado.



Gráfica 8. *Tan δ para las siete formulaciones con 0.30% de hidrocoloide.*

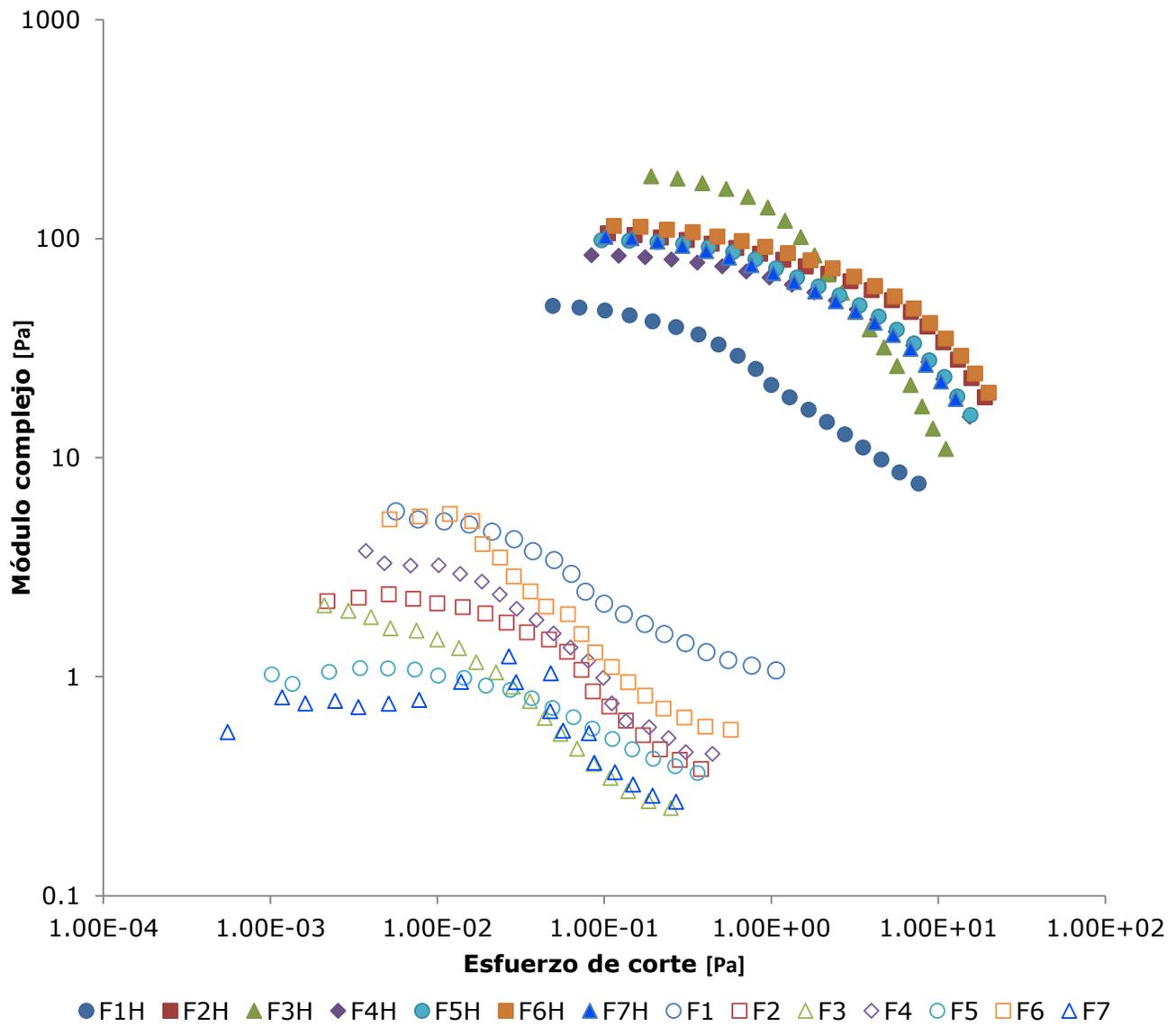
La *Gráfica 9* muestra el comportamiento del módulo complejo para la formulación 1 variando la concentración del hidrocoloide. Se observa que las concentraciones de 0.5 % y 0.6 % son las que confieren mayor rigidez a la mezcla, similar al comportamiento de un ungüento o pomada. Sin embargo, la rigidez de la concentración de 0.6 % presentó un cambio muy radical, ya que al aumentar el esfuerzo, disminuyó el módulo complejo, es decir, fue poco resistente. Un comportamiento similar se presentó con la concentración de 0.5 %; sin embargo, el cambio no fue tan marcado. Por otra parte, se observó que la concentración de 0.3 % fue la de mayor estabilidad a lo largo de la prueba, corroborando que es la concentración idónea para la formulación, además de conferirle una consistencia más ligera. La formulación con 0.1 % de hidrocoloide no fue estable a lo largo de la prueba y mostró poca resistencia a mayores deformaciones.



Gráfica 9. Módulo complejo para la formulación 1 con diferente concentración de hidrocoloide.

La *Gráfica 10* muestra el comportamiento del módulo complejo para las 7 formulaciones con hidrocoloide (F1H, F2H, etc.) al 0.30 %, y sin hidrocoloide (F1,

F2, etc.). Las curvas de flujo de las formulaciones sin hidrocoloide (*Anexo 5-Figura 17-19*), mostraron un comportamiento pseudoplástico; sin embargo, ninguna de ellas presentó estabilidad debido a que el módulo complejo disminuye considerablemente al aumentar el esfuerzo. Al incorporar el hidrocoloide, se observa que éste les otorga fluidez y estabilidad a las formulaciones. Si bien la formulación 1 sin hidrocoloide, fue la que obtuvo el mayor valor del módulo complejo, con la adición de hidrocoloide, presentó el menor valor pero fue más estable. La adición del hidrocoloide formó tres grupos: F1H (grupo 1), la cual contenía una mayor cantidad de la harina A lo que la hace más fluida y suave; F2H, F4H, F5H, F6H y F7H (grupo 2), con un contenido más alto de harinas de B y/o C, lo que les confirió mayor dureza a las formulaciones; y F3 (grupo 3), con un mayor contenido de harina B lo que generó mayor dureza y menor estabilidad a la formulación. Dentro del mismo grupo 2, se observó mucha similitud entre las formulaciones F5H y F7H ya que ambas contenían las mismas harinas aunque en diferente proporción. La misma similitud se observó entre las formulaciones F2H y F7H.

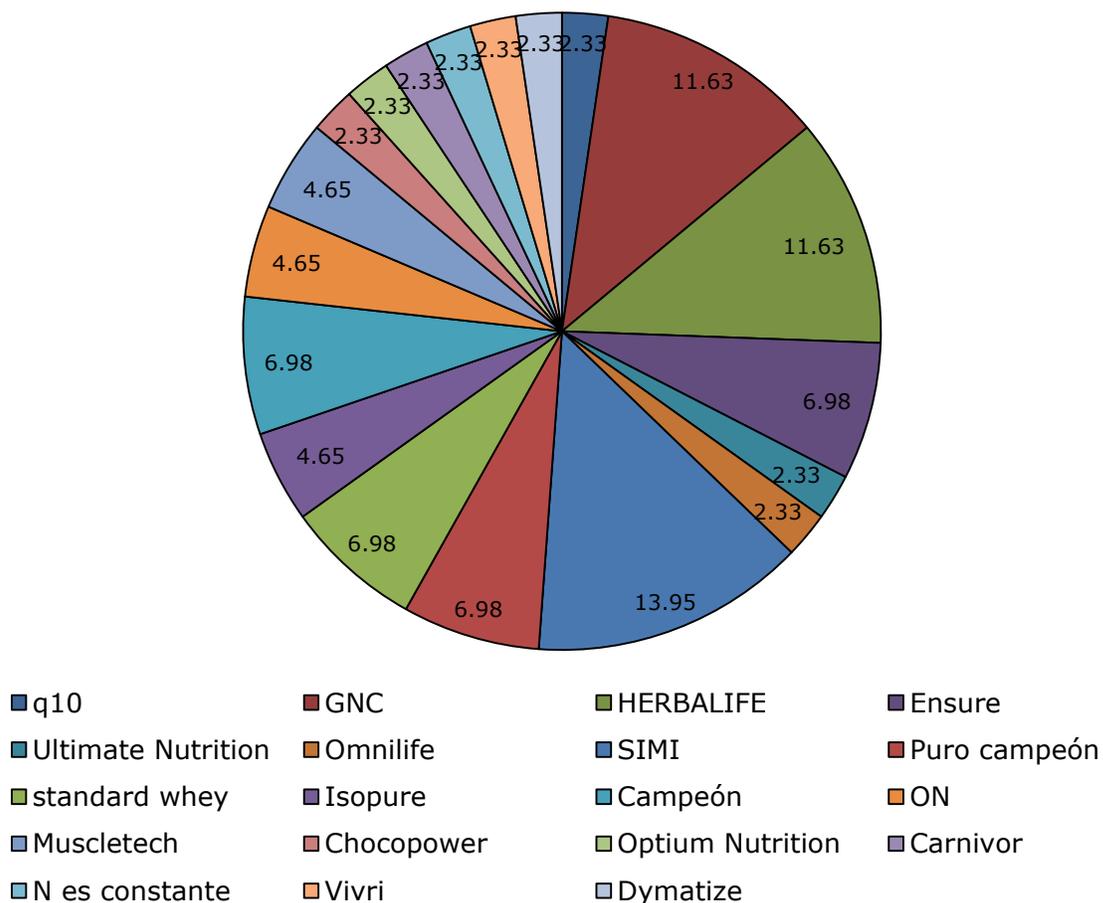


Gráfica 10. Módulo complejo para las siete formulaciones con hidrocoloide (0.30 %) y sin hidrocoloide.

3.3.5 Segunda prueba sensorial: prueba afectiva (nivel de agrado con consumidores)

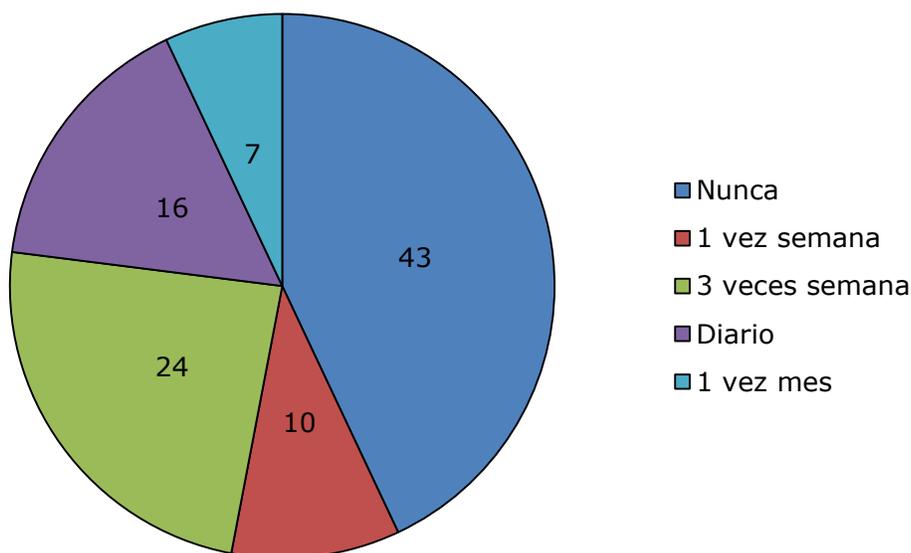
Esta prueba se realizó en 100 consumidores que evaluaron cuatro muestras de suplemento con dos tipos y dos concentraciones diferentes de edulcorante: Estevia® (1600 mg/kg y 2500 mg/kg) y Splenda® (1200 mg/kg y 2400 mg/kg); 73 de ellos eran hombres y 27 mujeres. Cuarenta y nueve de los evaluadores tenían menos de 20 años, 36 tenían entre 21 a 30 años, 40 de ellos entre 31 a 40 años y finalmente 9 eran mayores a 40 años. Asimismo, 57 de los evaluadores eran consumidores de suplementos alimenticios.

En la *Gráfica 11* se muestran los suplementos alimenticios que son consumidos por los deportistas, siendo SIMI®, GNC® y Herbalife® los de mayor consumo con 13.95, 11.63 y 11.63 % de consumo, respectivamente.



Gráfica 11. Marcas de suplementos alimenticios consumidos por los evaluadores

La *Gráfica 12* muestra la frecuencia de consumo: 24 de los evaluadores consumían suplementos tres veces a la semana, 16 de ellos manifestaron hacerlo diariamente, 10 consumidores una vez a la semana y 7 deportistas una vez al mes.



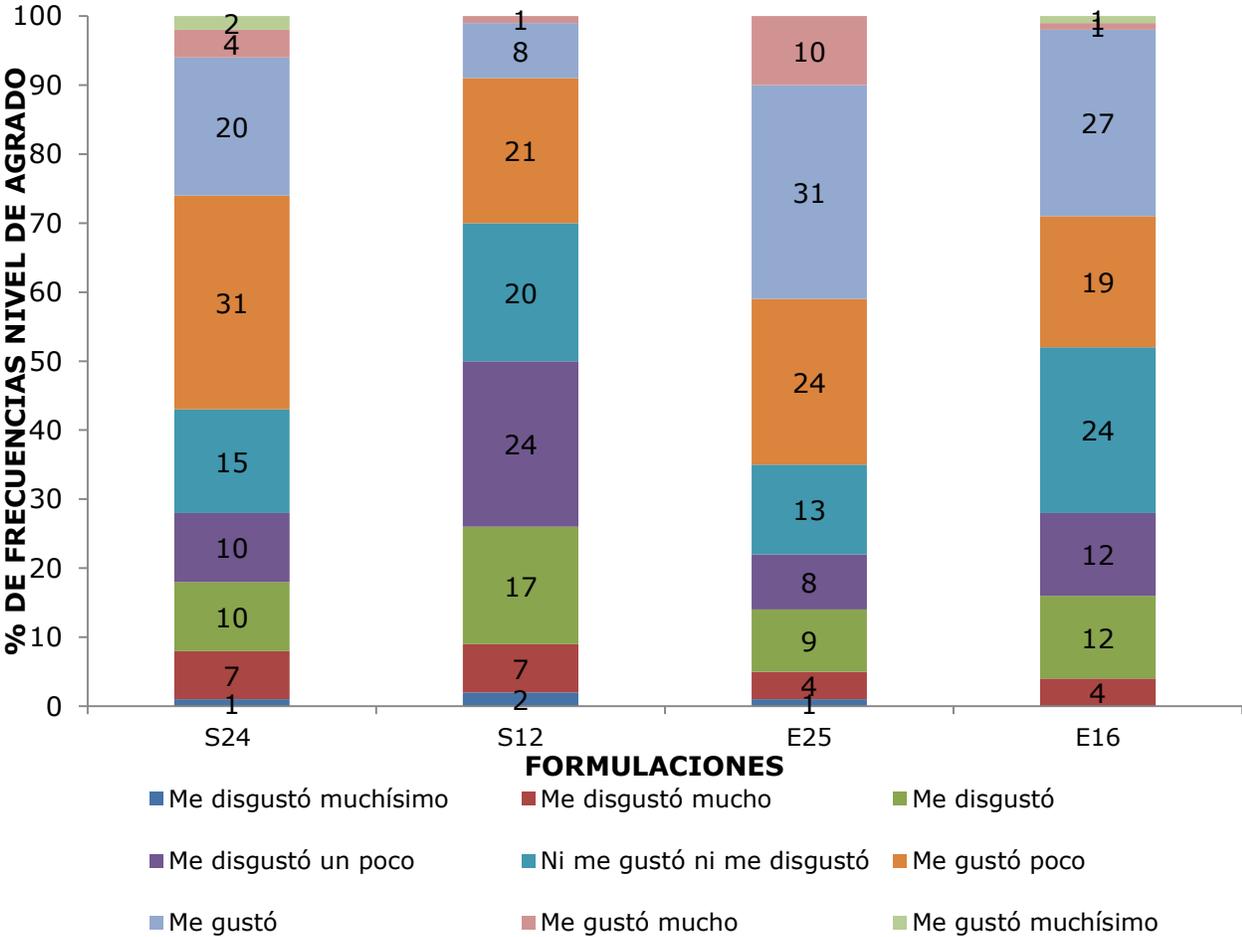
Gráfica 12. Frecuencia de consumo de suplementos alimenticios.

Nivel de agrado en general

En la *Gráfica 13* se muestra la distribución de los porcentajes de frecuencia del nivel de agrado en general para las cuatro muestras. Se realizó la suma de las 4 calificaciones más altas (6, 7, 8 y 9), con el fin de observar la distribución para cada muestra.

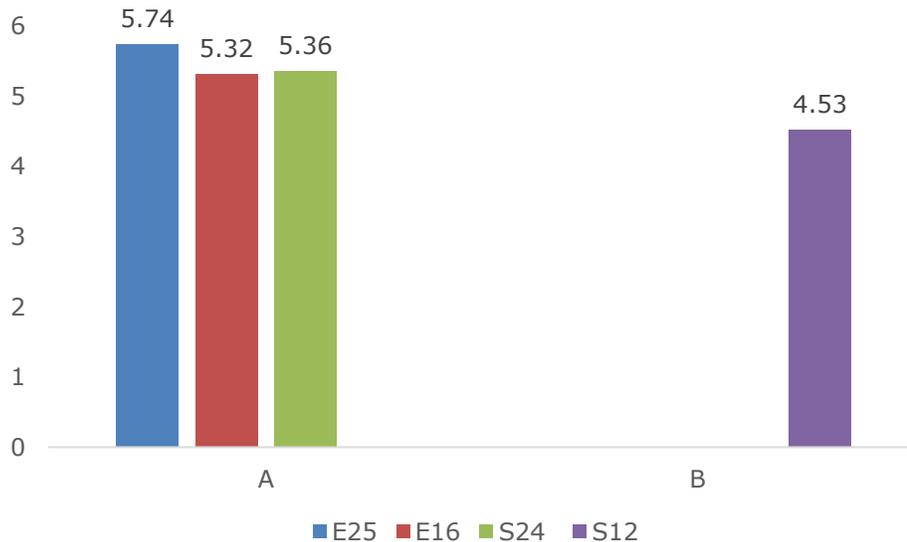
Se observó que la muestra E25 fue la mejor evaluada, ya que obtuvo el mayor porcentaje de frecuencia (31%) en el punto 7 ("me gustó") de la escala hedónica, asimismo, logró obtener el mayor porcentaje (10%) del punto 8 ("me gustó mucho") de la escala; por lo tanto obtuvo el mayor porcentaje (65 %) de la suma de las 4 calificaciones más altas. La muestra S24 obtuvo el mayor porcentaje de frecuencia (31%) en el punto 6 ("me gustó poco") de la escala hedónica; también logró obtener 4% y 2 % en los puntos 8 ("me gustó mucho") y 9 ("me gustó muchísimo"), respectivamente de la escala hedónica siendo la segunda muestra con mayor nivel de agrado; la suma de las 4 calificaciones más altas fue de 57 %. Cabe resaltar que las muestras E25 y S24 fueron las de mayor concentración de cada tipo de edulcorante, reflejando la preferencia por el dulzor en los consumidores. La

muestra E16 obtuvo los mayores porcentajes de frecuencia (27 y 24%) en el punto 7 ("me gustó") y 5 ("ni me gustó ni me disgustó") de la escala; la suma de las 4 calificaciones más altas fue de 48%, siendo la tercera muestra con mayor nivel de agrado. Por último, la muestra S24 fue la peor evaluada al obtener el mayor porcentaje de frecuencia (31%) en el punto 6 ("me gustó poco") de la escala hedónica; asimismo, la suma de las 4 calificaciones más altas fue de 30%.



Gráfica 13. Nivel de agrado en general de las 4 muestras.

Se realizó la prueba ANOVA (*Anexo 6 – Tabla 30*), la cual determinó que las muestras eran significativamente diferentes; por lo tanto la prueba Tukey (*Anexo 6 – Tabla 31*) generó dos grupos: A (E25; \bar{x} =5.74, S24; \bar{x} =5.36, E16; \bar{x} =5.32) y B (S12; \bar{x} =4.53) (*Gráfica 14*).

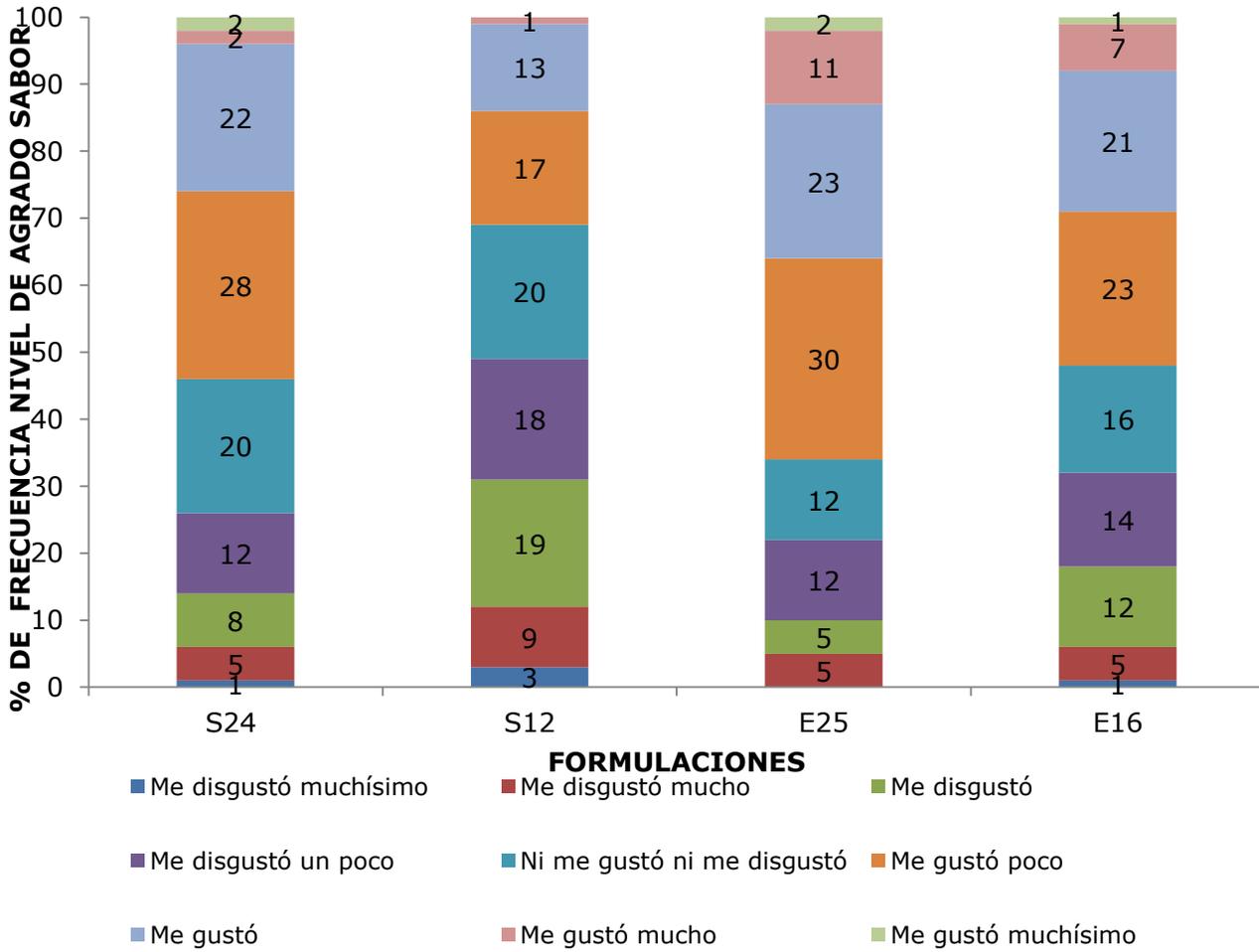


Gráfica 14. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado en general.

Nivel de agrado para sabor

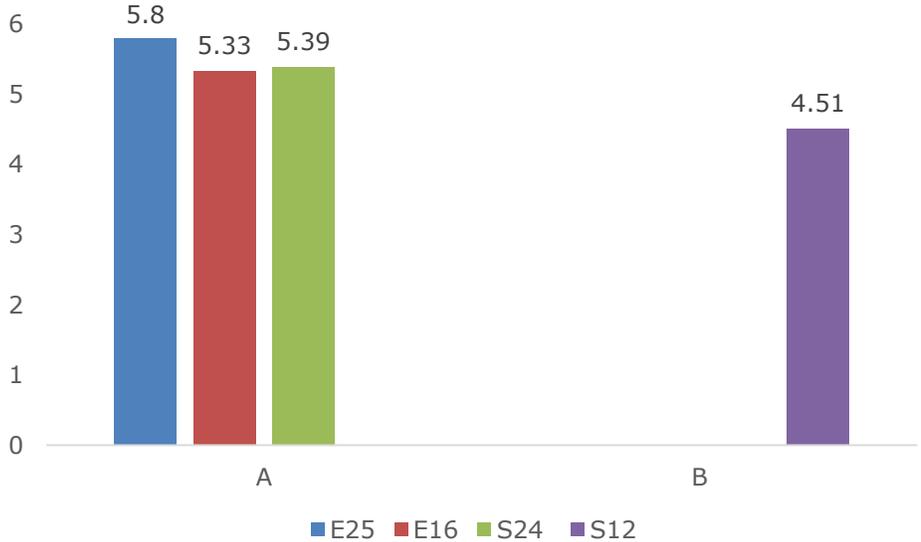
Para el nivel de agrado de sabor se observó la misma tendencia que en nivel de agrado en general (*Gráfica 14*), es decir, la muestra E25 fue la de mayor agrado en sabor al obtener los mayores porcentajes de frecuencia (30% y 23%) en los puntos 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”), respectivamente de la escala hedónica; asimismo, obtuvo el mayor porcentaje (11%) del punto 8 (“me gustó mucho”) de la escala. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 66%. La muestra S24 obtuvo los mayores porcentajes de frecuencia (28% y 22%) en los puntos 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 54%. Por parte de la muestra E16, obtuvo los mayores porcentajes de frecuencia (23 y 21%) en los puntos punto 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 52%. Finalmente, la muestra S12 fue la de menor nivel de agrado en sabor, al obtener los mayores porcentajes de frecuencia (23 y 21%) en los puntos 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica. En los comentarios de la

prueba, en general se mencionó que el sabor debería mejorarse y que además no se percibía mucho el sabor a chocolate



Gráfica 15. Nivel de agrado para sabor de las 4 muestras.

Se realizó la prueba ANOVA para el nivel de agrado en sabor (*Anexo 6 – Tabla 32*), la cual determinó que las muestras eran significativamente diferentes; por lo tanto la prueba Tukey (*Anexo 6 – Tabla 33*) generó dos grupos: A (E25; $\bar{x}=5.8$, S24; $\bar{x}=5.39$, E16; $\bar{x}=5.33$) y B (S12; $\bar{x}=4.51$) (*Gráfica 16*).

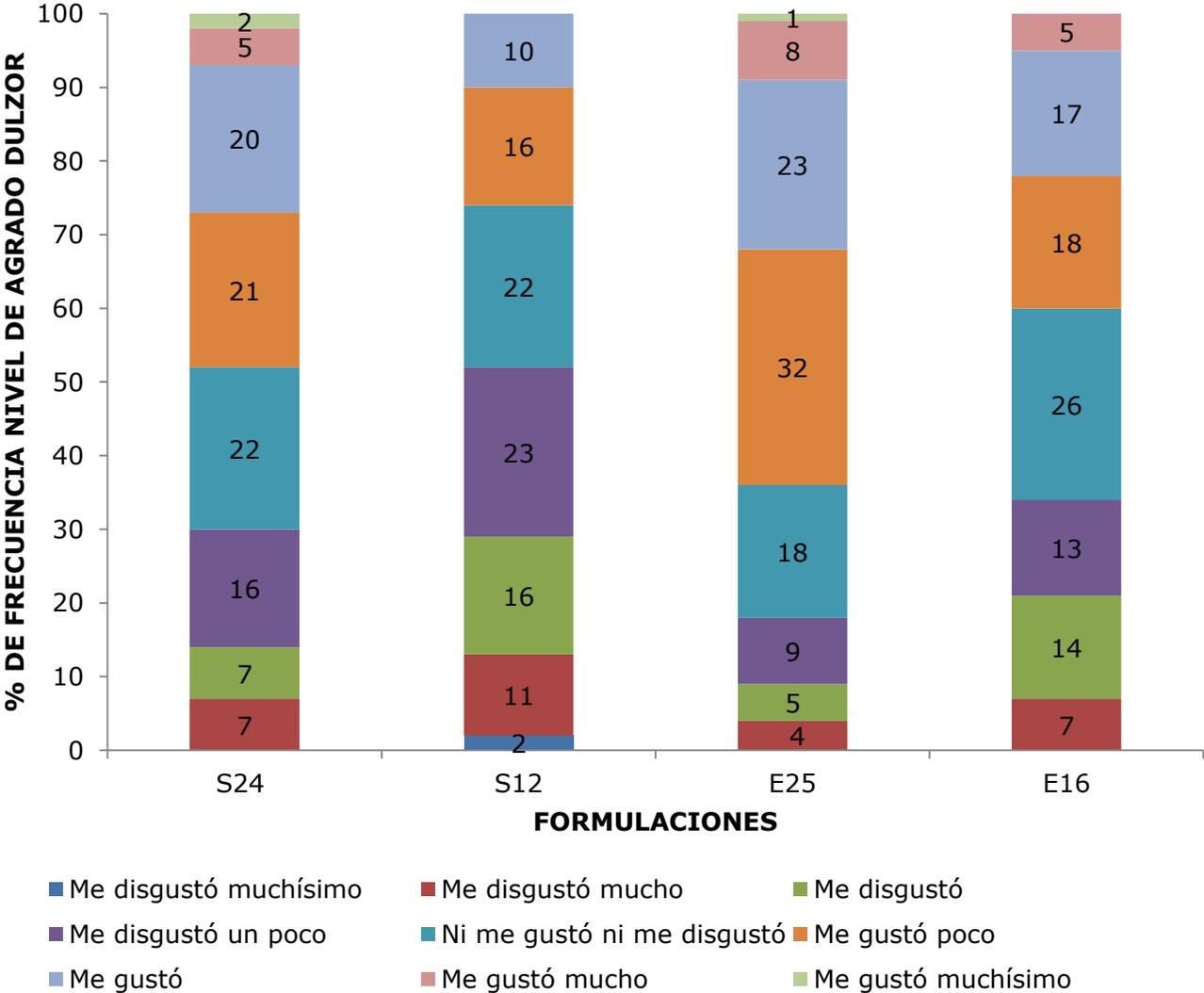


Gráfica 16. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado en sabor.

Nivel de agrado para dulzor

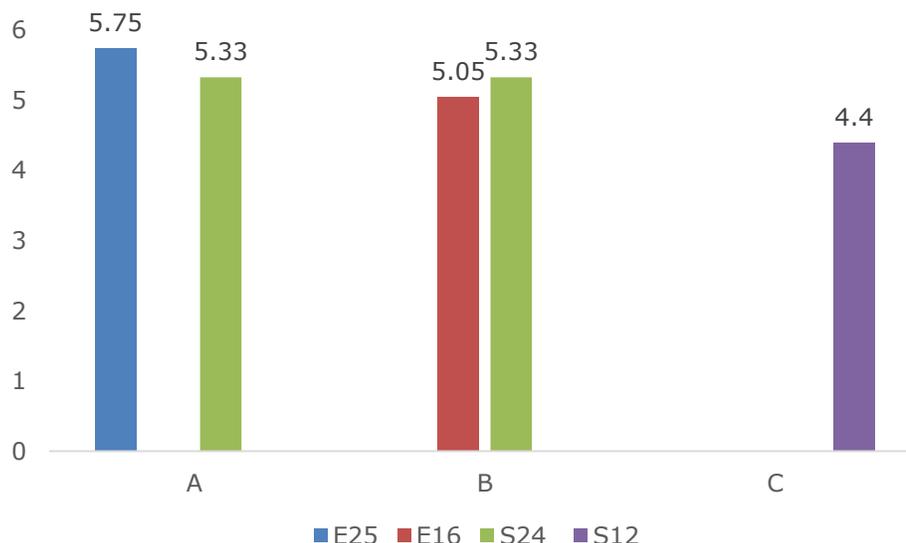
La misma tendencia de preferencia se observa en el nivel de agrado de dulzor (*Gráfica 15*), la muestra E25 fue la de mayor agrado en dulzor al obtener los mayores porcentajes de frecuencia en los puntos 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica; asimismo, logró obtener el mayor porcentaje del punto 8 (“me gustó mucho”) de la escala. La suma de las 4 calificaciones más alta fue de 64%. La segunda muestra mejor evaluada fue la S24 al obtener los mayores porcentajes de frecuencia (22, 21 y 20%) en los puntos 5 (“ni me gustó ni me disgustó”), 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 48%. Por su parte la muestra E16 obtuvo el mayor porcentaje de frecuencia (26%) en el punto 5 (“ni me gustó ni me disgustó”) de la escala hedónica; asimismo, la suma de las 4 calificaciones más alta fue de 40%. Por último, la muestra S12 fue la de menor nivel de agrado en dulzor, al obtener los mayores porcentajes de frecuencia en los puntos 5 (“ni me gustó ni me disgustó”) y 6 (“me gustó poco”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 26%. En la parte de los comentarios, los

consumidores mencionaron que les gustaría que los suplementos fueran más dulces, sin embargo, fueron tomados los límites máximos para cada edulcorante, tal como se mencionó en la metodología (inciso 2.5.1), siendo las muestras mejor evaluadas.



Gráfica 17. Nivel de agrado para dulzor de las 4 muestras.

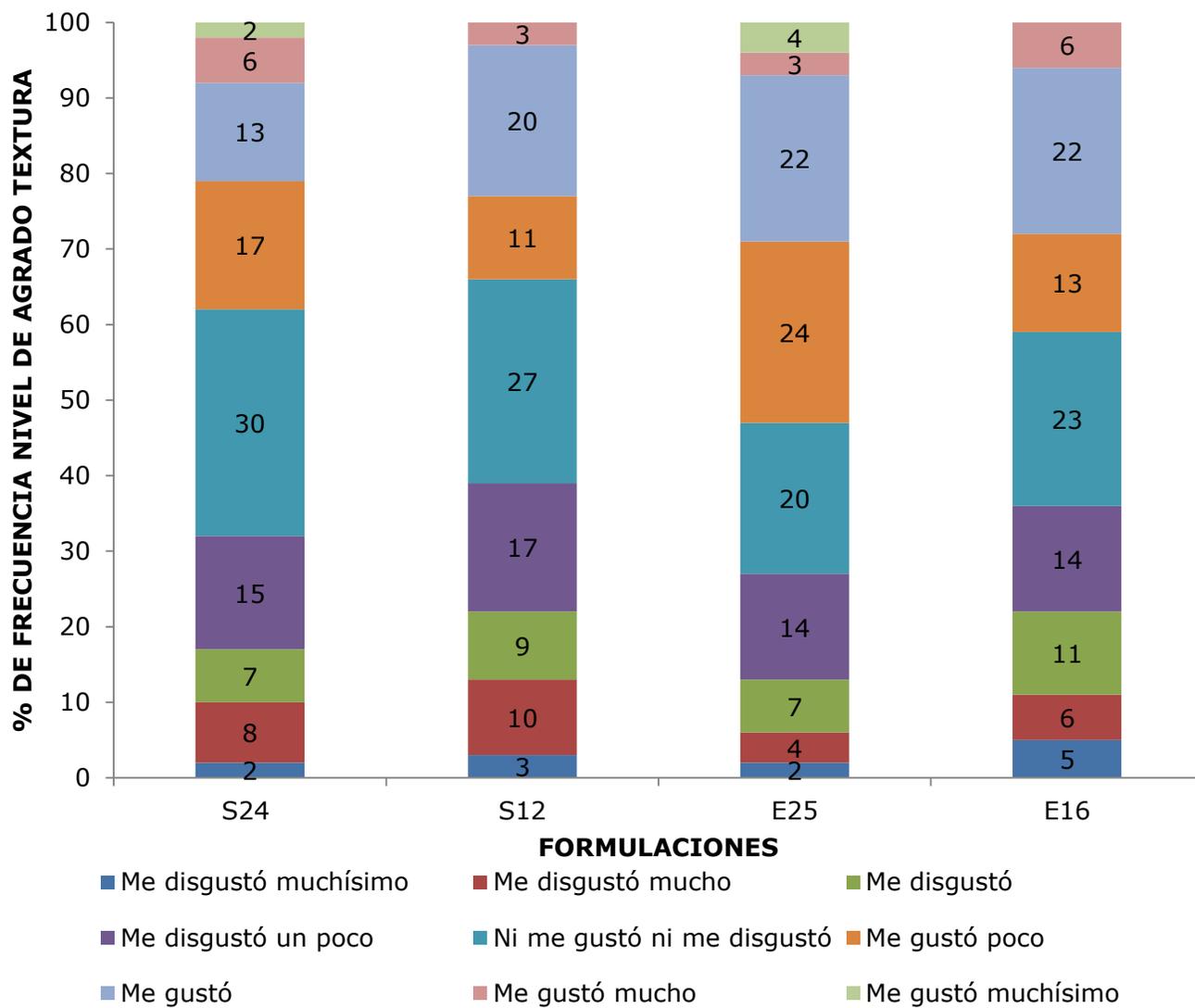
Se realizó la prueba ANOVA para el nivel de agrado para dulzor (*Anexo 6 – Tabla 34*), la cual determinó que las muestras eran significativamente diferentes; por lo tanto la prueba Tukey (*Anexo 6 – Tabla 35*) generó tres grupos: A (E25; \bar{x} =5.75, S24; \bar{x} =5.33), B (S24; \bar{x} =5.33, E16; \bar{x} =5.05) y C (S12; \bar{x} =4.40) (*Gráfica 18*).



Gráfica 18. Grupos generados en la prueba de Tukey en nivel de agrado para dulzor.

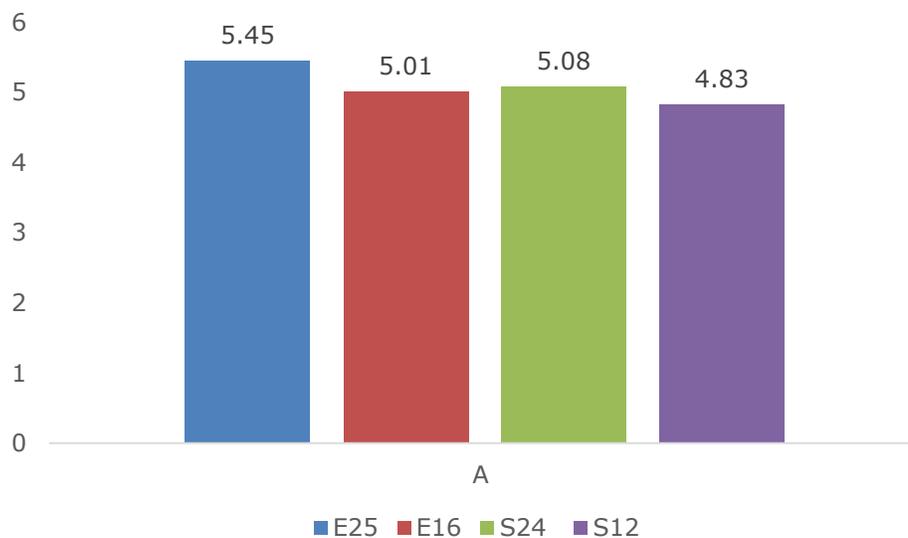
Nivel de agrado para textura

Para el caso de nivel de agrado de textura (*Gráfica 16*), se observó que la muestra E25 fue la mejor evaluada, al obtener los mayores porcentajes de frecuencia en los puntos 6 (“me gustó poco”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica; la suma de las 4 calificaciones más altas fue de 53%. La muestra S24 obtuvo los mayores porcentajes de frecuencia (15, 30 y 17%) en los puntos 4 (“me disgustó un poco”), 5 (“ni me gustó ni me disgustó”) y 6 (“me gustó poco”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 38%. La muestra E16 obtuvo los mayores porcentajes de frecuencia en los puntos 5 (“ni me gustó ni me disgustó”) y 7 (“me gustó”) de la escala. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 41%. Finalmente, la muestra S12 fue la peor evaluada al obtener los mayores porcentajes de frecuencia en los puntos 4 (“me disgustó un poco”), 5 (“ni me gustó ni me disgustó”) y 7 (“me gustó”) de la escala hedónica. La suma de las 4 calificaciones más altas fue de 34%. En los comentarios de la encuesta, la textura fue uno de los parámetros que más se criticó, en general no les fue agradable, les pareció pastosa y grumosa.



Gráfica 19. Nivel de agrado para textura de las 4 muestras.

En el ANOVA generada (*Anexo 6- Tabla 36*), no se observó diferencia entre las muestras, es decir, las cuatro muestras fueron evaluadas de la misma forma. Las medias obtenidas fueron: E25 \bar{x} = 5.45; E16 \bar{x} =5.01; S24 \bar{x} =5.08 y S12 \bar{x} : 4.83 (*Gráfica 20*).

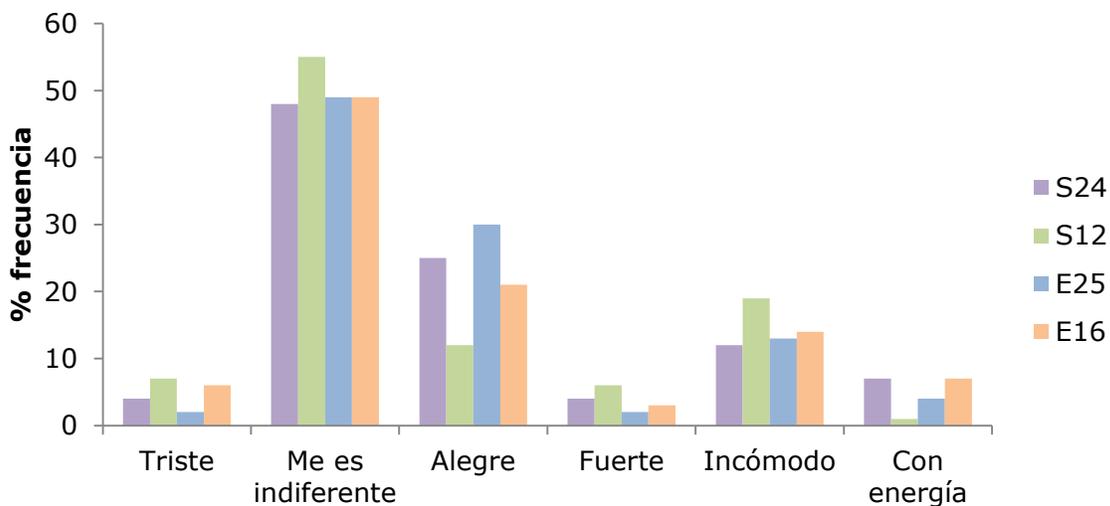


Gráfica 20. Medias obtenidas en la prueba de nivel de agrado en textura.

3.3.6 Evaluación de emociones por medio de imágenes

Finalmente, en la *Gráfica 17* se observa el porcentaje de frecuencia para cada una de las emociones detectadas por los consumidores ((*Anexo 6 – Tabla 37*). Los porcentajes de frecuencia más altos se encuentran para la emoción de “me es indiferente”, siendo la formulación S12 la de mayor porcentaje (55 %). Tres de las cuatro muestras generaron alegría en los evaluadores (20 a 30 %), exceptuando a la formulación S12. Asimismo, entre 12 y 20% de los evaluadores indicaron que las 4 muestras causaron incomodidad. Finalmente, a menos del 10 % de los evaluadores les fueron generadas las siguientes emociones: triste, fuerte y con energía.

Con lo anterior, se puede concluir que la formulación S12 fue la de menor nivel de agrado, concordando con los porcentajes generados en la evaluación de emociones por medio de imágenes.



Gráfica 21. Porcentaje de frecuencia para emociones.

3.3.6 Caracterización bromatológica: Análisis Químico Proximal

La *Tabla 14* presenta los resultados de la caracterización bromatológica de la formulación final (E25). Los datos se presentan tanto en base húmeda como en base seca. Para el caso de los valores reportados en base seca, se observó lo siguiente: el aporte energético de la formulación fue de 377.57 kcal/100g, resultando benéfico, ya que como ya se había mencionado, se buscó que la formulación fuera hipoenérgica, es decir, que estuviera por debajo de la ingesta diaria energética (500 a 800 kcal). El valor obtenido de proteína cruda, es decir, el contenido de nitrógeno de origen proteínico y no proteínico fue de 18.36 g/100 g; la proteína es el macronutriente más importante para pacientes post-cirugía bariátrica, ya que los aminoácidos son los encargados del mantenimiento de la masa magra muscular en los pacientes. Asimismo, se ha demostrado que durante la pérdida de peso una dieta alta en proteína ayuda a mantener estables los niveles de glucosa en sangre en períodos de ayuno, mejorando así el índice glucémico. Por otro lado, se ha comprobado que la dieta se complementa con carbohidratos complejos, se favorece la reducción de los niveles de triglicéridos (Leite, Pereira, y de Almeida, 2011); el contenido de carbohidratos obtenido fue de 67.11 g/ 100 g, siendo este el mayor porcentaje en la formulación. Los carbohidratos se encuentran principalmente en los cereales y leguminosas; a estos grupos de alimentos se le conoce como alimentos energéticos, debido a que aportan el mayor porcentaje de energía en la dieta (Fornaguera y Gómez, 2006). Con base en el resultado del contenido de proteína obtenido, se sugirió un consumo de 2 tomas de suplemento al día (1 toma =150 g), para cubrir las necesidades diarias de aminoácidos; sin embargo, el aporte energético se estaría rebasando por 300 kcal aproximadamente, pudiendo ocasionar náuseas, vómito o el "síndrome de dumping" en el paciente, por lo que la dosificación sería a consideración del médico. Respecto al contenido de lípidos, el valor obtenido fue de 3.91 g/ 100 g, el cual no representa un porcentaje de lípidos significativo en la formulación. El contenido de cenizas obtenido fue de 3.51 g/ 100 g, representando un contenido alto de nutrimentos inorgánicos en la formulación; sin embargo, es necesario realizar un estudio más específico el cual logre identificar los nutrimentos inorgánicos presentes en el suplemento. Los pacientes post-cirugía bariátrica en general presentan deficiencias de los siguientes nutrimentos inorgánicos y vitaminas: calcio, hierro, vitaminas del complejo B, zinc y ácido fólico (Bosnic, 2013).

Tabla 14. Análisis químico proximal de la formulación final (E25).

Determinación	Base húmeda (g/100 g)	Base seca (g/100 g)
Materia seca	27.63	100
Humedad	72.37	0
Energía (kcal)	104.31	377.57
Proteína cruda (Nitrógeno*6,25)	5.07	18.36
Extracto etéreo	1.08	3.91
Cenizas	0.97	3.51
Fibra cruda	1.96	7.11
Extracto libre de nitrógeno	18.54	67.11

*Método AOAC Químico Proximal (1990).

Finalmente, la *Figura 5* muestra la etiqueta final del producto.



Figura 5. Etiqueta final del producto.

Conclusiones

Las tres harinas obtenidas cumplieron con los parámetros de calidad al estar exentas de materiales y olores extraños. Asimismo, su contenido de humedad estuvo dentro del límite permitido (15 %).

Se realizó una comparación del contenido de aminoácidos entre los valores obtenidos experimentalmente y los valores teóricos correspondientes a los granos y semillas crudos y con tratamiento térmico. Asimismo, se determinaron los aminoácidos abundantes para cada una de las harinas empleadas.

En la prueba de inhibidores de tripsina se comprobó la disminución de cerca del 90 % para las harinas sometidas a tratamiento térmico.

Las siete propuestas de formulación obtenidas en el diseño de mezclas cumplieron con los requerimientos nutrimentales para el paciente bariátrico.

Se encontró que la concentración de 0.30 % de hidrocoloide logró dispersar a la mezcla de sólidos en las siete formulaciones, comprobando su efectividad en la prueba de sedimentación.

En la primera prueba sensorial con consumidores, las formulaciones 1,6 y 7 fueron las de mayor nivel de agrado, por lo que la formulación 1 fue elegida para su reformulación.

Se obtuvo un comportamiento pseudoplástico en las curvas reológicas para la formulación 1 a diferentes concentraciones. La viscosidad de la formulación, aumentó al incrementar el porcentaje del hidrocoloide. La formulación F1H fue la formulación menos viscosa al obtener el menor índice de consistencia (4.193), siendo la formulación más suave y fluida. En las curvas de frecuencia para todas las formulaciones, el módulo elástico fue mayor al módulo viscoso, por lo que todas las muestras presentaron elasticidad.

La muestra E25 logró ser la de mayor nivel de agrado en la segunda prueba sensorial con consumidores, logrando obtener las mayores calificaciones para los cuatro atributos evaluados, siendo la elegida para el análisis bromatológico.

El análisis bromatológico de la formulación final (E25) en base seca cumplió con los requerimientos nutrimentales para el paciente bariátrico.

Perspectivas

- ❖ Estandarizar el proceso de obtención de harinas, cuidando el tiempo y la temperatura de cocimiento y tostado de las harinas.
- ❖ Realizar el análisis químico proximal para cada harina empleada.
- ❖ Determinar el contenido de triptófano, así como repetir la técnica de determinación de aminoácidos en las harinas crudas y con tratamiento térmico con el fin de verificar la pérdida de aminoácidos.
- ❖ Adicionar una harina de leguminosa rica en aminoácidos esenciales con el fin de elevar el contenido de los mismos en la formulación.
- ❖ Probar algún saborizante para elevar el nivel de agrado de la formulación.
- ❖ Probar otros hidrocoloides para que la formulación sea más fluida.
- ❖ Realizar pruebas de digestibilidad de la proteína
- ❖ Implementar un protocolo clínico para evaluar el nivel de agrado en los pacientes, así como la efectividad del suplemento.

Referencias

Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. Diario Oficial. Julio 2012.

Agenda Pública, 2017. 4.2 millones de obesos mórbidos en el país. México duplica el promedio mundial., 12 junio. [En línea]

Disponible en: <https://www.arenapublica.com/articulo/2017/06/12/5987/obesidad-morbida-superobesidad-mexico-cifras>

[Último acceso: 10 octubre 2017].

Angrisani, L., Santonicola, A., Iovino, P., Formiscano, G., Buchwald, H. y Scopinaro, N., 2015. Bariatric Surgery Worlwide 2013. *Surgery Obesity*. 10, 1657-1695.

Belitz, H., Grosch, W. y Schieberle, P., 2009. Edulcorantes. En: *Química de los Alimentos*. Heidelberg: Springer-Verlag GmbH, 386.

Boatella, J., Codony, R. y López, P., 2004. *Química y Bioquímica de los alimentos 2*. Barcelona: Universidad de Barcelona.

Bolaños, N., Lutz C., G. y Herrera R., C., 2003. *Química de alimentos. Manual de laboratorio*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Bosnic, G., 2013. Nutritional Requirements After Bariatric Surgery. *Critical Care Nursing Clinics of North America*. 26, Issue 2, 255-262.

Bradley, F., Armstrong, T. y Bennet, P., 1982. Determinación de aminoácidos. En: *Bioquímica*. Nueva York: Reverté, S.A., 82.

Cabrera, A., Jiménez, C. y Dávila, O., 2013. Non-nutritional factors and their biological functionality. *Agricultural and Biological Sciences*, Capítulo 17.

Cardellá, L., 2007. *Bioquímica Humana*. Segunda ed. La Habana: Ciencias Médicas.

Casanueva, E., Kaufer-Horwitz, M. y Arroyo, P., 2001. En: *Nutriología Médica*. Segunda edición. México, D.F: Medica Panamericana, 593.

Cifuentes, G., Flores, S. y Limón, G., 1985. Deficiencia de lactasa intestinal en un pueblo Nahuatl: alternativas para los programas de intervención nutricional en la región. *Rev. Invest Clin*, 37, 311-315.

Clínica de Obesidad. Hospital Manuel Gea González.

Departamento de Agricultura, FAO, 2017. [En línea]

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0u.htm>

[Último acceso: 03 octubre 2017].

Depósito de documentos de la FAO, 2017. [En línea]

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0u.htm>

[Último acceso: 07 octubre 2017].

Depósito de documentos de la FAO, 2000. [En línea]

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y1453s/y1453s05.htm#TopOfPage>

[Último acceso: 22 octubre 2017].

Dixon, J., Zimeet, P., Alberti, K. y Rubino, F., 2011, International Diabetes Federation Taskforce on Epidemiology and Prevention. Bariatric Surgery: and IDF statement for obese Type 2 diabetes. *Epub*, 4, 433.

Drake, M., 2007. Sensory analysis of dairy foods. *Journal of Dairy Science*, 90(11), pp. 4925-4937.

Propiedades Reológicas de los fluidos. [En línea]

Disponible en:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1103/A10.pdf?sequence=10>

[Último acceso: 28 Septiembre 2017].

European Pharmacopoeia 7.0. Common aproach for AA analysis.

Fornaguera, J. y Gómez, G., 2006. *Bioquímica: la ciencia de la vida*. Segunda edición. Barcelona: Universidad Estatal a Distancia.

Frago, S., 2016. Síndrome de malabsorción. *Elsevier*, 12(4), pp. 159-167.

Gaucín, D., 2016. Producción y consumo de legumbres. *El economista* [En línea]

Disponible en: <https://www.economista.com.mx/opinion/Produccion-y-consumo-de-legumbres-I-20160615-0010.html>

[Último acceso: 27 octubre 2017].

García, C., 2014. *Inhibidores de proteasas en leguminosas*. Valladolid:.

Gil, A., 2010. *Tratado de Nutrición*. Segunda edición. Madrid: Médica Panamericana.

Gimferrer, N., 2009. Del grano a la harina. *Ciencia y Tecnología*. [En línea]

Disponible en: http://www.avideter.com/ftp_public/A3020409.pdf

[Último acceso: 4 septiembre 2017].

Guillamón, E., Pedrosa, M., Burbano, C., Cuadrado, C., de Cortés, M. y Muzquiz, M., 2008. The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Food Chemistry*, Issue 107, 68-74.

- Gutiérrez, H. y De La Vara, R., 2008. *Análisis y diseño de experimentos*. Segunda edición ed. México, D.F.: Mc-Graw Hill Interamerica.
- Gutiérrez, J., Rivera, J., Shaman, T., Villalpando, S., Franco, A. y Cuevas, L., 2012. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales*. Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Heber, D., Greenway, F. y Kaplan, L., 2010. *Endocrine and nutritional management of the post-bariatric surgery patient*. Segunda edición ed. Tustin, C.A.
- Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N. y Khan, M. S., 2005. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, Volumen 97, 331-335.
- Iuel-Brockdorf, A., Aase, T., Ritz, C., Cichon, B., Brix, V. y Yameogo, C., 2016. Evaluation of the acceptability of improved supplementary foods for the treatment of moderate acute malnutrition in Burkina Faso using a mixed method approach. *Appetite*, Volumen 99, 34-35.
- Javaloyes, P., O'Broin, S., Bruque, R., Puzzili, F. y Umena, M., 2016. *Leguminosas. Semillas nutritivas para un futuro sostenible*.:FAO
- Kakade, M., Rackis, J., McGhee, J. y Puski, G., 1974. Determination of trypsin inhibitory activity of soy product: a collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chemistry*, Issue 51, 376-382.
- Komkiao, S., Benjakul, S., Kishimura, H. y Chaijan, M., 2011. Extraction, Purification and properties of trypsin inhibitor from Thai mug bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Food Chemistry*, 129, 1348-1354.
- Leite, S., Pereira, O. y de Almeida, M., 2011. Dietary Protein Intake and Bariatric Surgery a Review. *Springer Science* , 1798-2005.
- Lisker, R., López, G., Dalbuit, M. y Rostenberg, I., 1974. Lactase deficiency in a rural area of Mexico. *Clin Nutr*, 27, 756-759.
- Litchford, M., 2010. Protein nutrition & bariatric patients. *Weight Management Matters*, 20-22.
- López, D., 2011. *Efecto del proceso de extrusión sobre los inhibidores de tripsina y actividad ureásica en frijol común*. Santiago de Querétaro, Querétaro.
- Macosko, C., 1994. *Rheology principles, measurements, and applications*. Wiley-VCH. 568
- Madrid, J. 1975. Rapid and simple method for the determination of thryptophan in cereal grains. *Analytical Biochemistry*. 67, 206-219.
- Makkar, H., Siddhuraju, P. y Becker, K., 2007. Methods in molecular biology. *Human Press*, Volumen 393, 1-6.

Maluenda, F., 2012. Cirugía bariátrica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(2), 180-188.

Manhaboob, S. y Michael, R. 1976. A simple colorimetric method for the determination of thryptophan. *Analytical Biochemistry*. 77, 378-386

Método AOAC, 1990.

Moize, V., Geliebter, A. y Gluck, M., 2003. Obese patients have inadequate protein intake related to protein intolerance up to 1 year following Roux-en-Y gastric bypass. *Obesity Surgery*, Volumen 13, 23-28.

Must, A., Spadano, J. y Coakley, E., 1999. The disease burden associated with overweight and obesity. *Am J Med*, Issue 282, 1523-1529.

National Institutes of Health, 2017. *U.S. Department of Health & Human Services*. [En línea]

Disponible en: https://ods.od.nih.gov/HealthInformation/DS_WhatYouNeedToKnow.aspx [Último acceso: 6 Octubre 2017].

Ndagire, C. T., Muyonga, J. H., Manju, R. y Nakimbugwe, D., 2015. Optimized formulation and processing protocol for a supplementary bean-bases composite flour. *Food Science and Nutrition*, 6(3), pp. 527-538.

NMX-F-083-1986. Alimentos. Determinación de Humedad en Productos Alimenticios. Dirección General de Normas.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SAA1-1996, Bienes y servicios. Cereles y sus productos. Harinas de cereales, semolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas.

Orlik, H., Holecki, M., Orlik, B., Wylezol, M. y Dulawa, J., 2015. Nutrition management of the post-bariatric surgery patient.. *Nutr. Clin Pract*, 383-392.

Pérez, M. y Temiño, R., 2008. *Síndrome de malabsorción intestinal*. [En línea]

Disponible en: https://isuu.com/judithizquierdo/malabsorción_intestinal_2 [Último acceso: 4 septiembre 2016].

Departamento de Pesca, 2017. *Depósito de documentos de la FAO*. [En línea]

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S03.htm> [Último acceso: 08 Octubre 2017].

Pisulewska, E. y Pisulewski, P., 2000. Trypsin inhibitor activity of legume seeds (peas, chicking vetch, lentils, and soya beans) as affected by the technique of harvest. *Animal feed Science and Technology*, Volumen 86, 261-265.

Ponce, E., Álvarez, M. y Calderón, M., 2014. *Microcomponentes y aditivos alimentarios*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.

Prasad, P., Kochhar, A. y Javed, M., 2016. Development of ready-to-eat supplementary foods using germinated cereal- pulse mix, potato flour and green leafy vegetable for manourished children. *Nutrition and Food Science*, 46(1), 30-42.

Propiedades Reológicas de los fluídos, 2016 [En línea]

Disponible en:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1103/A10.pdf?sequence=10>

[Último acceso: 28 septiembre 2017].

Ramírez, J., 2006. *Introducción a la reología de los alimentos*. Primera ed. Cali, Colombia: ReCiTeLa.

Ramírez, V., Cerezal, P., Utuvia, G., Romero, N. y Arcos, R., 2011. Desarrollo de prodcto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; I: Formulación y aceptabilidad. *Nutrición Hospitalaria*, 26(1), 152-160.

Rivara, M., 2017. *¿Por qué es importante determinar el perfil de aminoácidos en los alimentos?*. [En línea]

Disponible en:

<http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Archivos/Por%20que%20es%20importante%20determinar%20el%20perfil%20de%20aminoacidos%20en%20los%20alimentos.pdf>

[Último acceso: 08 octubre 2017].

Romero , P., de los Santos, A., y Girón, J., 2012. Síndrome de malabsorción. *Medicine*, 11(4), pp. 197-205.

Rosado, J., Rivera, J., López G., Solano, L., Rodríguez, G., Casanueva, E. y Maulen, I., 1999. Desarrollo y evaluación de suplementos alimenticios para el programa de educación, salud y alimentación. *Salud Pública Mex*, Volumen 41, 153-162.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017. [En línea]

Disponible en:

http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf

[Último acceso: 03 septiembre 2017].

Severiano, P. y Gómez, D., Méndez, C., Pedrero D., Gómez C., Ríos, S. y Andrade, M., 2016. *Manual de Evaluación Sensorial*. Ciudad de México: Facultad de Química, UNAM.

Stoklossa, J. y Atwal, S., 2013. Nutrition care for patients with weight regain after bariatric surgery. *Gastroenterol Res Pract*, Volumen 256145.

Suárez, M., Kizlansky , A. y López, L., 2006. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el escore de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición Hospitalaria*, Issue 21, 47-51.

Umaña, J., Álvarez, C., Seneida, M. y Gallardo, C., 2005. Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. *Grupo de Estudios de Estabilidad de Medicamentos, cosméticos y alimentos.*, 33-46.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 2016.. [En línea]

Disponible en:

[https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods?qlookup=&fgcd=&manu=&SYNCHRONIZER_TOKEN=d8492b9d-461b-4c87-8a37-99a2e3824d51&SYNCHRONIZER_URI=%2Fndb%2Ffoods.](https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods?qlookup=&fgcd=&manu=&SYNCHRONIZER_TOKEN=d8492b9d-461b-4c87-8a37-99a2e3824d51&SYNCHRONIZER_URI=%2Fndb%2Ffoods)

[Último acceso: 6 septiembre 2016].

Valle, P. y Florentino, B., 2000. Inhibidores de tripsina. En: *Toxicología de Alimentos*. México, D.F. Instituto Nacional de Salud Pública. 75-76.

Van Wazer J., 1963. *Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology*. Interscience Publishers. 406

Vázquez, C., De Cos, A. y López-Nomdedeu, C., 2005. *Alimentación y Nutrición. Manual Teórico-Práctico*. Segunda ed. Madrid-Buenos Aires: Diaz de Santos.

Zhang, Y., Yao, W., Liang. L., Sun, M., Wang, S. y Huang, D. 2017. Selective detection and quantification of tryptophan and cysteine with pyrenedione as a turn-on fluorescent probe. *Sensors and Actuators*. 768-774.

Anexos

Anexo 1.

Materiales: Harinas

Tabla 15. Análisis Químico Proximal Teórico de cereales, leguminosas y otros granos

Análisis Químico Proximal (g/100 g)							
Producto	Humedad	Energía (kcal/100g)	Proteína	Lípidos totales (Grasa)	Hidratos de Carbono^a	Fibra dietética total	Azúcares totales
Harina de Avena (parcialmente sin salvado)	8.55	404.00	14.66	9.12	65.70	6.50	0.80
Harina de cebada	12.11	345.00	10.50	1.60	74.52	10.10	0.80
Harina de maíz amarillo (grano entero)	10.91	361.00	6.93	3.86	76.85	7.30	0.64
Quinoa cocida	71.61	120.00	4.40	1.92	21.30	2.80	0.87
Harina de trigo (grano entero)	10.74	340.00	13.21	2.50	71.97	10.70	0.41
Trigo (salvado crudo)	9.89	216.00	15.55	4.25	64.51	42.80	0.41
Germen de trigo tostado	5.60	382.00	29.10	10.70	49.60	15.10	7.80
Cacahuete (cocido, hervido, con sal)	41.78	318.00	13.50	22.01	21.26	8.80	2.47
Haba (semillas maduras, cocidas, hervidas, sin sal)	71.54	110.00	7.60	0.40	19.65	5.40	1.82
Lenteja (semillas maduras, cocidas, hervidas, sin sal)	69.64	116.00	9.02	0.38	20.13	7.90	1.80
Frijol negro (sin sal cocido y hervido)	65.74	130.00	8.18	0.35	24.35	8.30	0.32
Harina de frijol negro	-	343.00	22.86	0.00	62.86	14.30	2.86
Almendra (tostada, seca, sin sal)	2.41	598.00	20.96	52.54	21.01	10.09	4,86
Nuez (tostada, seca, sin sal)	23.00	2.97	0.26	0.04	2.40	0.43	-

Fuente: Base de Datos de Nutrientes para Estándares de Referencia del Departamento

De Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).

Anexo 2

Perfil de aminoácidos

Tabla 16. Perfil de Aminoácidos.

Cereal o leguminosa	A			B			C		
	grano crudo*	harina *	harina experimental	semilla cruda*	cocidas y hervidas *	experimental	Semilla cruda *	cocidas y hervidas *	experimental
Aminoácido	g de aa/ 100 g de proteína								
Triptófano	0.234	0.17	-	0.221	0.081	-	0.256	0.105	-
Treonina	0.575	0.36	0.49	0.882	0.323	0	0.909	0.373	0
Isoleucina	0.694	0.39	0.25	1.065	0.39	0	0.954	0.391	4
Leucina	1.284	0.79	0.68	1.786	0.654	0.7	1.725	0.708	3.24
Lisina	0.701	0.41	0.73	1.72	0.63	1.08	1.483	0.608	1.26
Metionina	0.312	0.21	0.19	0.21	0.077	0	0.325	0.133	0.9
Cisteína	0.408	0.34	0.05	0.322	0.118	0	0.235	0.096	0.03
Fenilalanina	0.895	0.53	0.4	1.215	0.445	0.31	1.168	0.479	0.82
Tirosina	0.573	0.23	0.39	0.658	0.241	0.01	0.608	0.25	0.23
Valina	0.937	0.53	0.42	1.223	0.448	0.04	1.13	0.464	0.68
Arginina	1.192	0.65	1.35	1.903	0.697	0.57	1.337	0.549	0.59
Histidina	0.405	0.23	0.86	0.693	0.254	1.09	0.601	0.247	0.56
Alanina	0.881	0.47	0.7	1.029	0.377	0.9	0.905	0.372	0.56
Ác. Aspártico	1.448	0.88	0.23	2.725	0.998	0.87	2.613	1.072	1.24
Ác. Glutámico	3.712	2.15	0.9	3.819	1.399	11.25	3.294	1.351	2.36
Glicina	0.841	0.5	0.92	1.002	0.367	0.31	0.843	0.346	0.58
Prolina	0.934	0.55	0.5	1.029	0.377	0.88	0.916	0.376	0.75
Serina	0.75	0.55	1.01	1.136	0.416	0.1	1.175	0.482	0.17

* Fuente: Harina A: Base de Datos de Nutrientes para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).
Aminogramas experimentales: *European Pharmacopoeia 7.0.*

Anexo 3

Inhibidores de tripsina

Tabla 17. Resultados de la determinación de los inhibidores de tripsina.

UIT/ mg muestra					
Repetición	Harina C cruda	Harina C cocida	Harina B cruda	Harina B cocida	Harina B cocida y tostada
1	50.23	1.83	38.71	3.19	2.54
2	42.33	3.86	33.04	2.92	2.83
3	40.65	3.79	27.61	3.22	2.78
4	52.12	4.04	27.16	3.416	2.886
5	54.90	3.75	26.85	3.669	3.049
6	42.210	3.750	28.285	3.471	4.004
7	36.380	3.190	29.519	2.980	2.793
9		3.595	38.744	4.392	
10		3.771	33.189	2.889	
Promedio	45.55	3.51	31.46	3.35	2.98
Desv. estandar	6.86	0.67	4.74	0.47	0.48
%disminución	-	92.30	-	89.35	90.52
Extracción*	1ra	2da	3ra	4ta	5ta

* Se realizaron al menos tres extracciones de proteína independientes para cada muestra, de las cuales al menos se realizó la determinación de inhibidores de tripsina por duplicado

Tabla 18. Análisis de datos determinación inhibidores de tripsina.

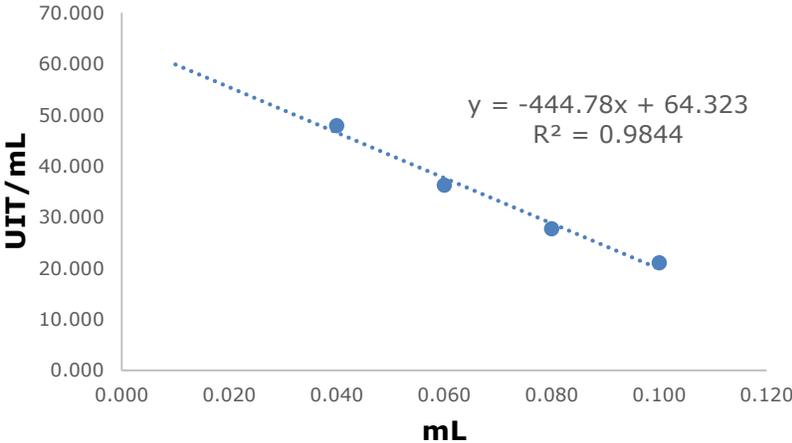
0.5 a 10	Abs 410 *	Blanco muestra	Abs corregida	UT * 0.2 mL	UIT	mL	UIT/mL
A	0.285	0.140	0.221	2.793	2.103	0.100	21.033
B	0.275	0.134	0.211	2.683	2.213	0.080	27.667
C	0.274	0.136	0.210	2.723	2.173	0.060	36.222
D	0.288	0.149	0.224	2.983	1.913	0.040	47.833
E	0.276	0.146	0.212	2.920	1.977	0.020	
F	0.288	0.163	0.225	3.257	1.640	0.010	
Control	0.309		0.245	4.897	0.000		

*Absorbancia leída a 410 nm

Cada valor de la columna "Abs 410", representó el promedio de las 3 lecturas registradas por el espectrofotómetro (Epoch, Biotek). La columna correspondiente al "blanco de muestra" representó el promedio de las tres lecturas del mismo. Se observó que los sobrenadantes obtenidos de las extracciones de proteína adquirían un color intenso por lo que presentaron lecturas de absorbancia a la longitud de onda utilizada (410 nm). A cada valor de absorbancia fue necesario restar el

promedio del blanco de muestra para obtener la absorbancia corregida, en el cual se evitó la actividad proteolítica remanente del sustrato sintético BAPNA, de esta manera se detectó solamente la lectura de la coloración aportada por la muestra y no por el producto de la reacción.

Cada valor obtenido se multiplicó por el volumen final de la reacción que fue de 0.2 mL. Posteriormente, cada valor fue dividido entre el volumen total de la reacción y se graficó. El valor final reportado es el promedio de todas las determinaciones corregido con la dilución empleada; sin embargo, también es correcto reportar el valor extrapolado del gráfico, es decir, el valor correspondiente a la ordenada al origen obtenido de la ecuación de la recta.



Gráfica 22. Gráfica determinación de inhibidores de tripsina.

Tabla 19. Ejemplo de resultados en la determinación de inhibidores de tripsina.

		UIT/mg de muestra
Promedio	33.19	33.19
Extrapolado	64.32	64.32

Anexo 4

Primera prueba sensorial afectiva: nivel de agrado con consumidores

Cuestionario prueba nivel de agrado

Prueba las muestras de izquierda a derecha e indica en la escala el nivel de agrado de cada una de las muestras.

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Clave: _____

Aceptación del producto								
Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Tabla 20. ANOVA nivel de agrado.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	6	32.5700	5.4283	2.9416	0.0086
Error	244	450.2667	1.8454	Hay diferencia significativa	
Total corregido	250	482.8367			

Tabla 21. Resultados prueba Tukey nivel de agrado

Formulación	Media	Grupos	
1	5.8000	A	
7	5.3333	A	B
6	5.3056	A	B
5	5.2500	A	B
4	4.8333		B
3	4.8056		B
2	4.6944		B

Anexo 5

Caracterización reológica

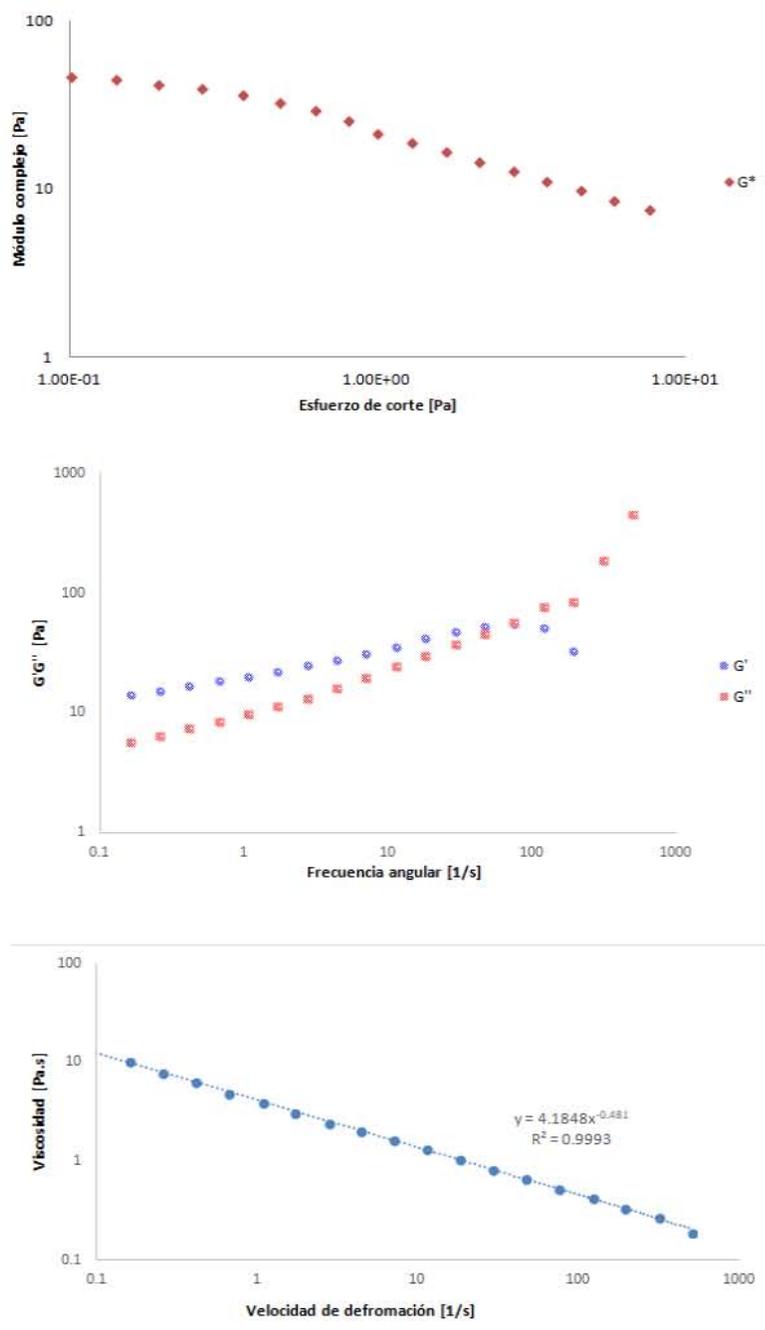


Figura 6. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1.

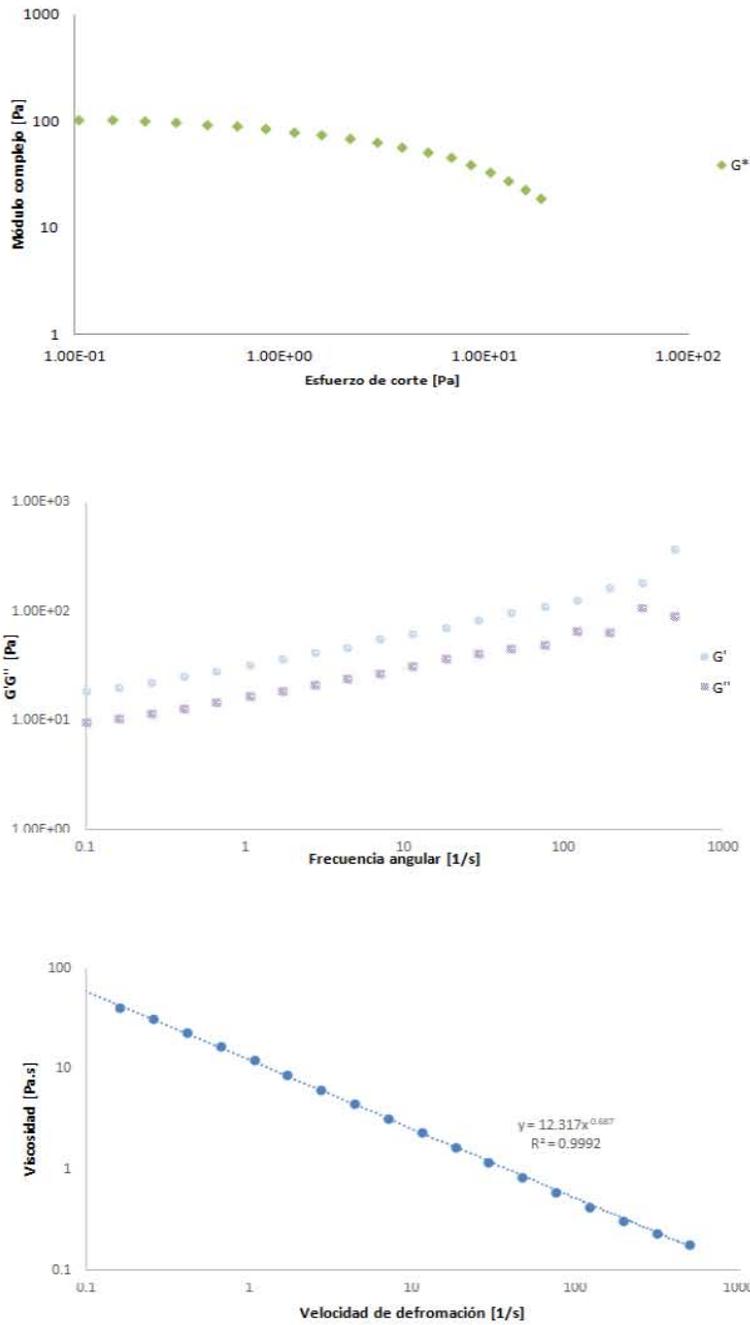


Figura 7. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 2.

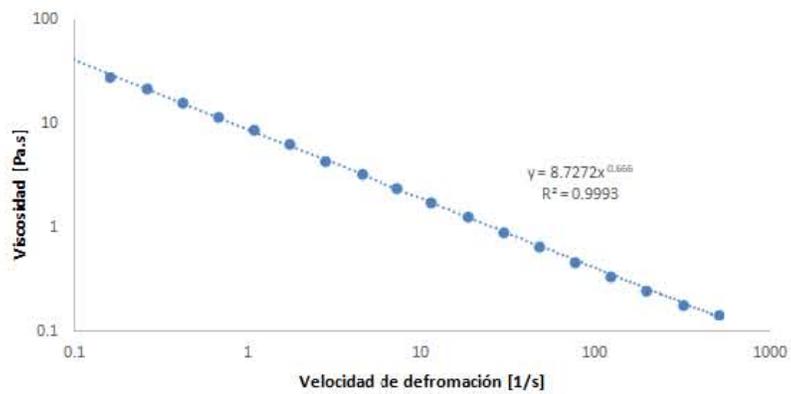
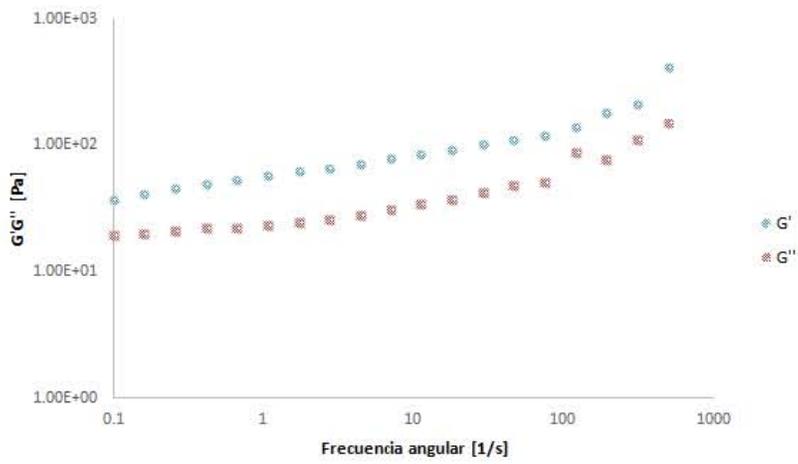
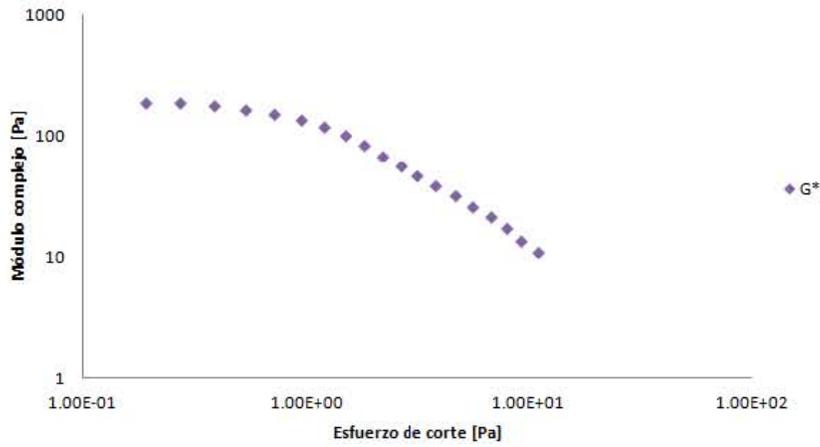


Figura 8. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 3.

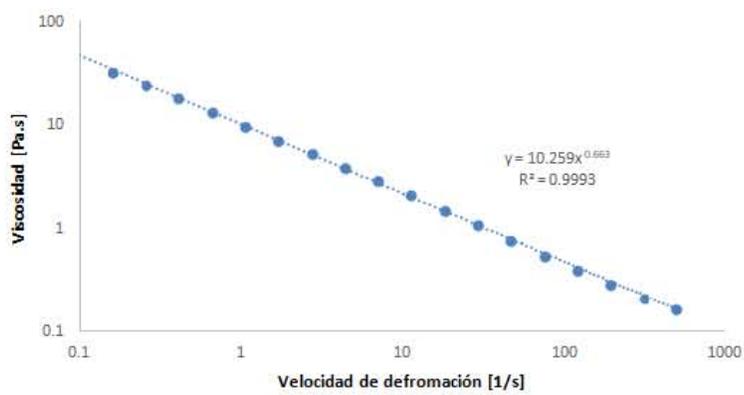
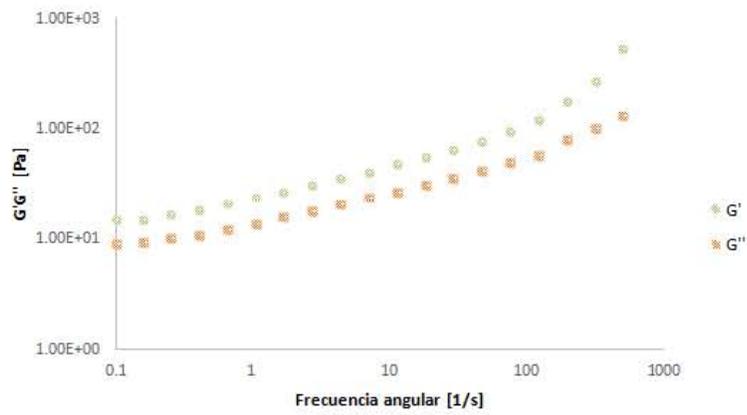
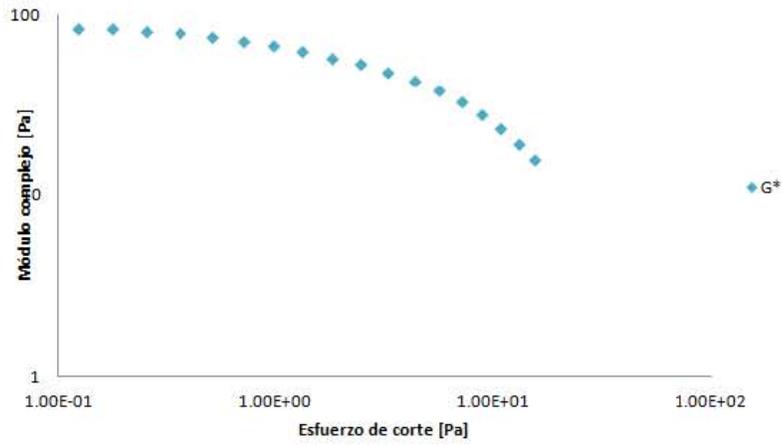


Figura 9. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 4.

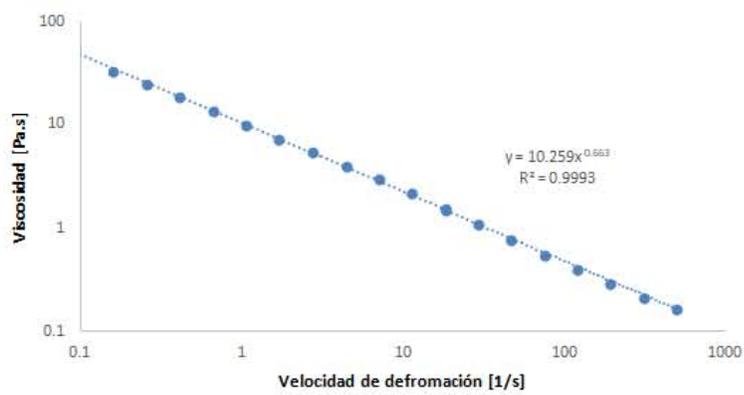
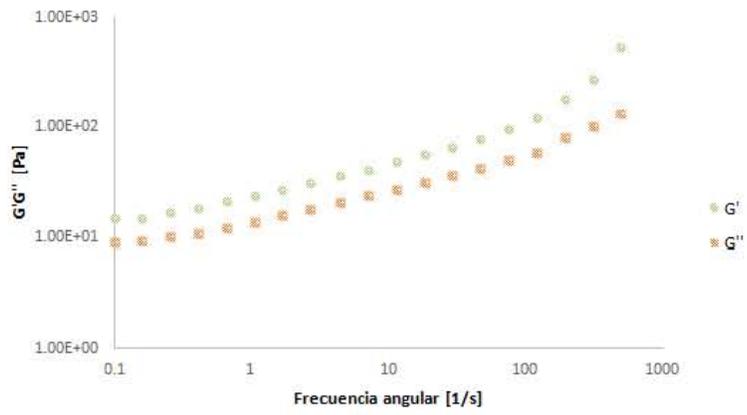
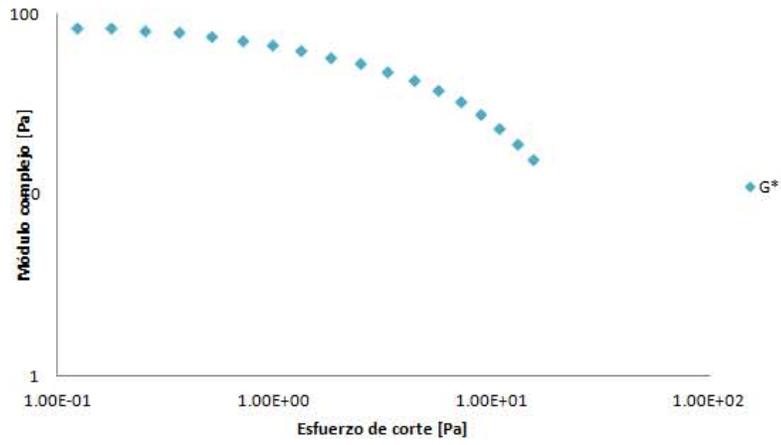


Figura 10. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 5.

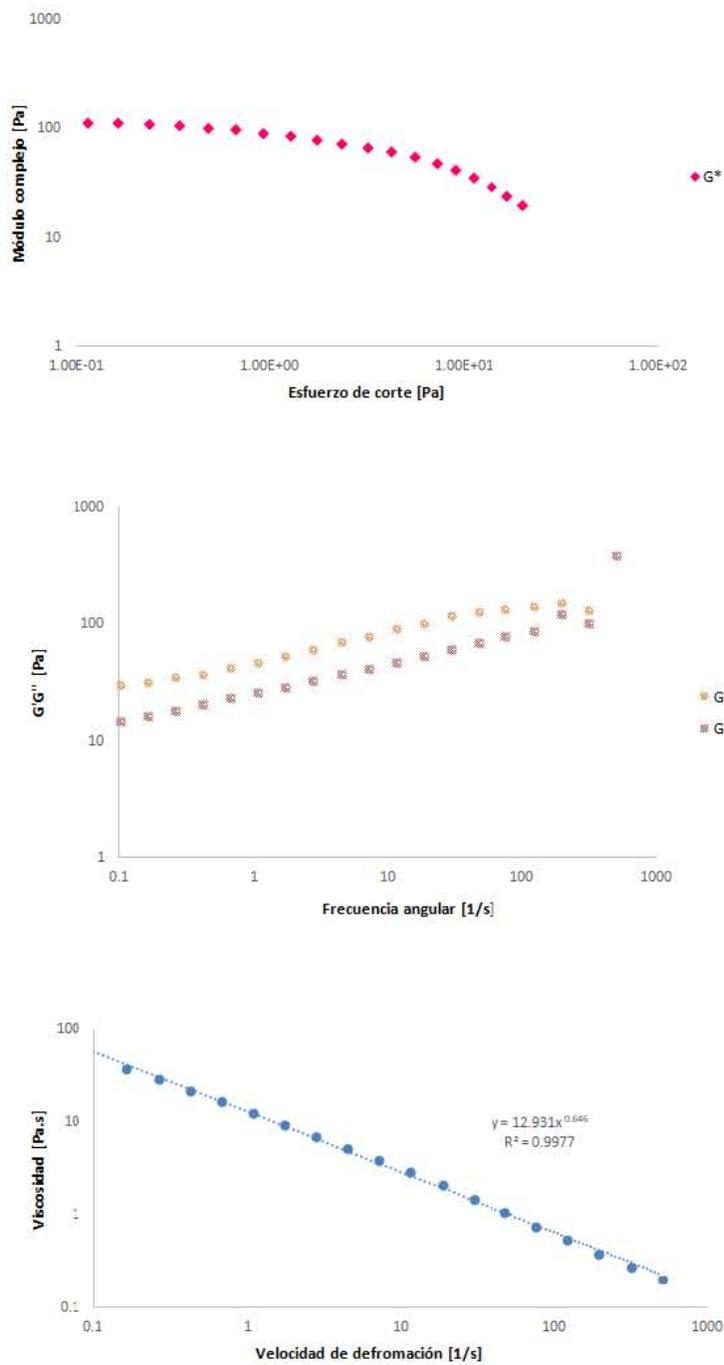


Figura 11. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 6.

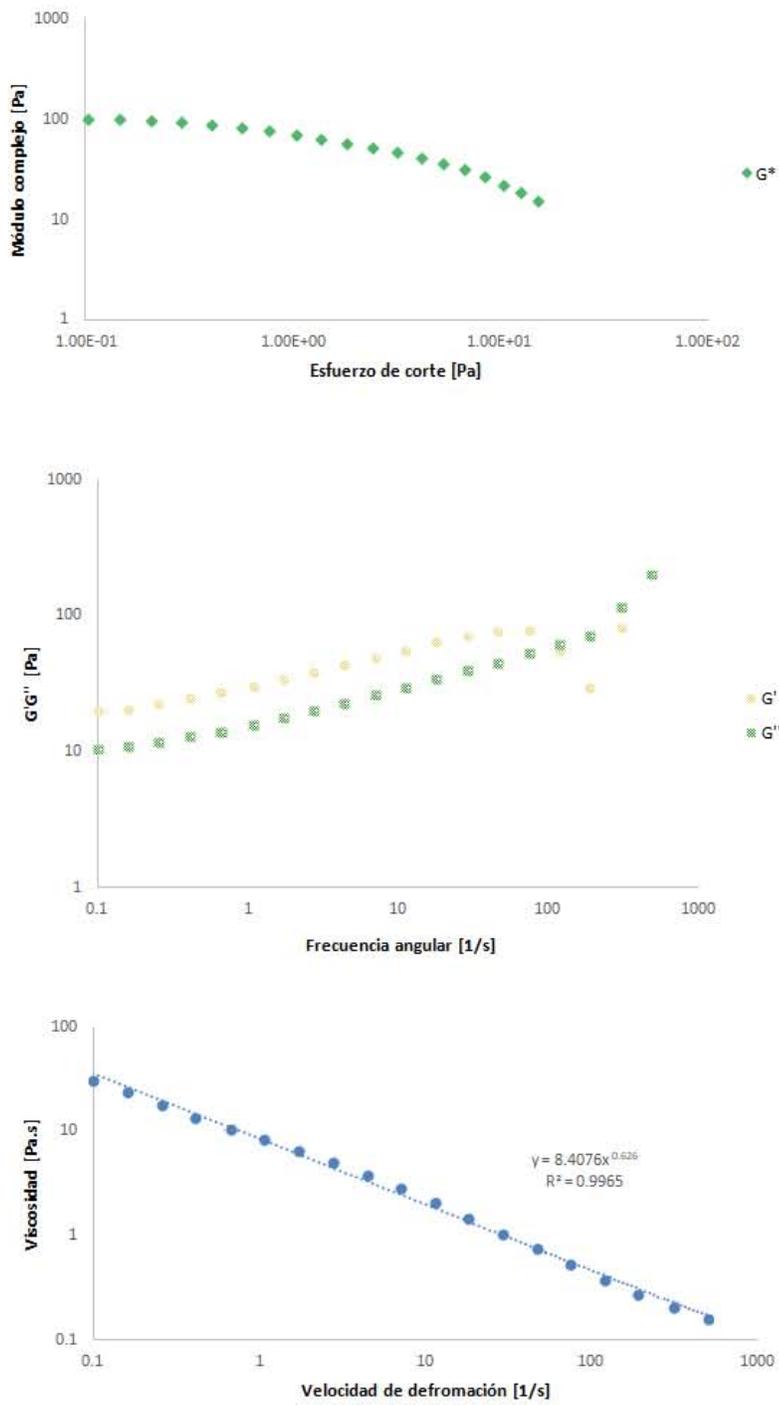


Figura 12. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 7.

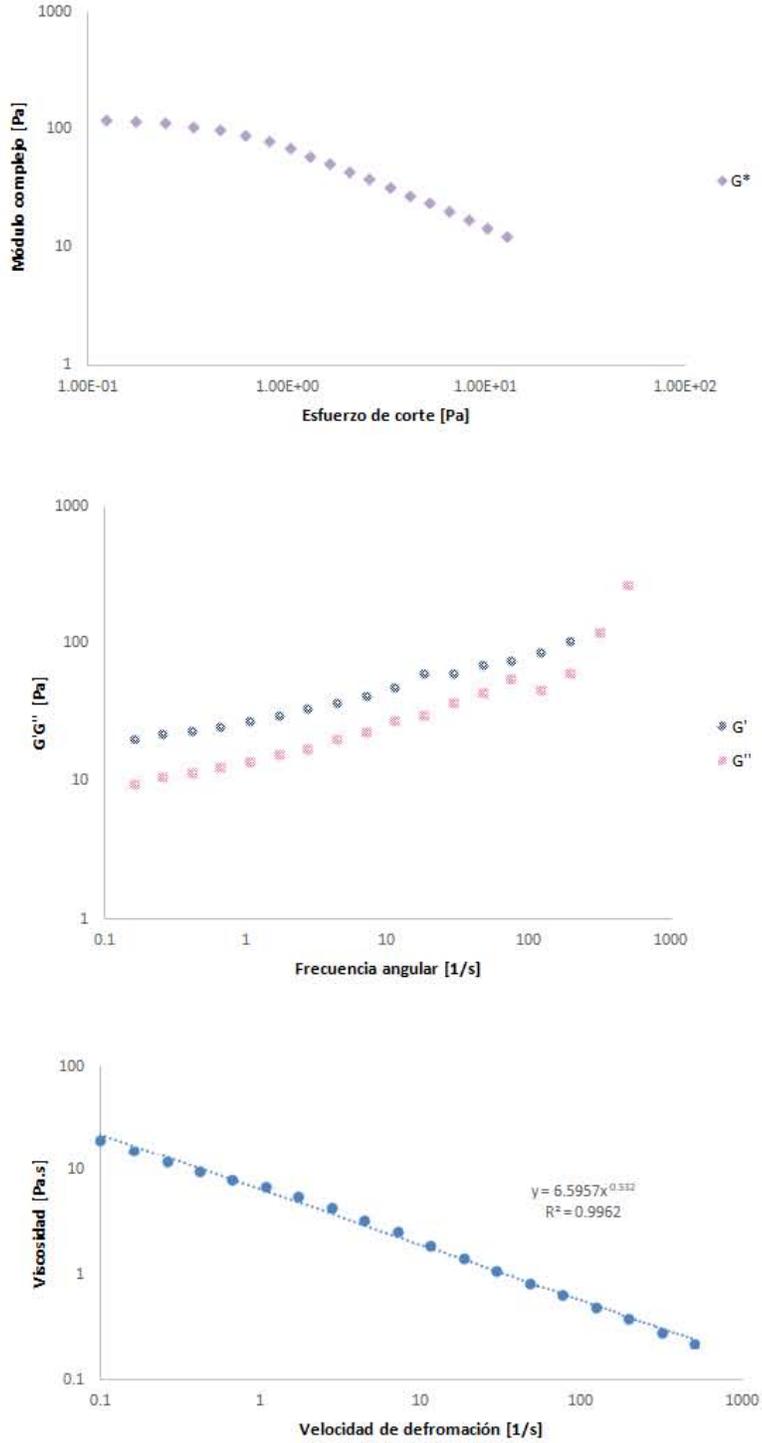


Figura 13. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.1 % de hidrocoloide.

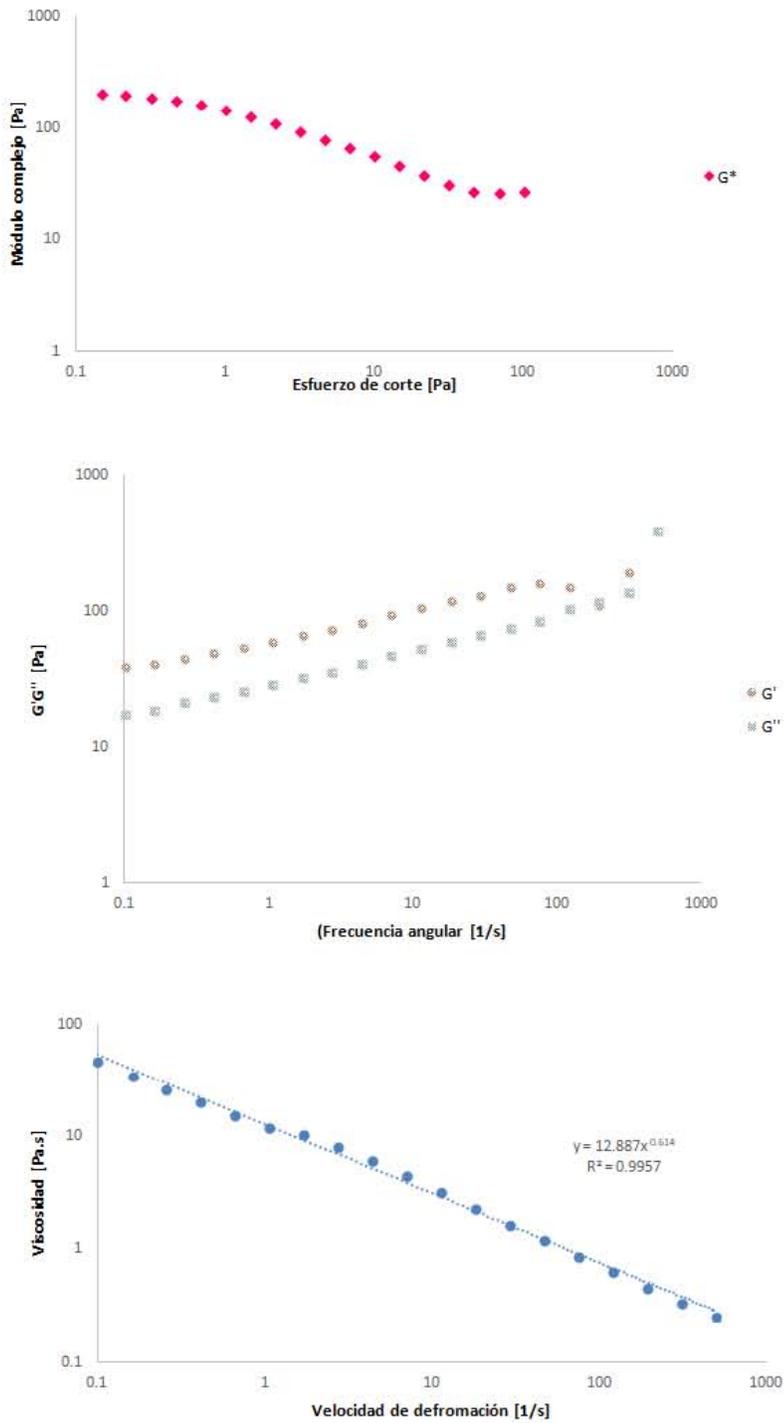


Figura 14. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.3 % de hidrocoloide.

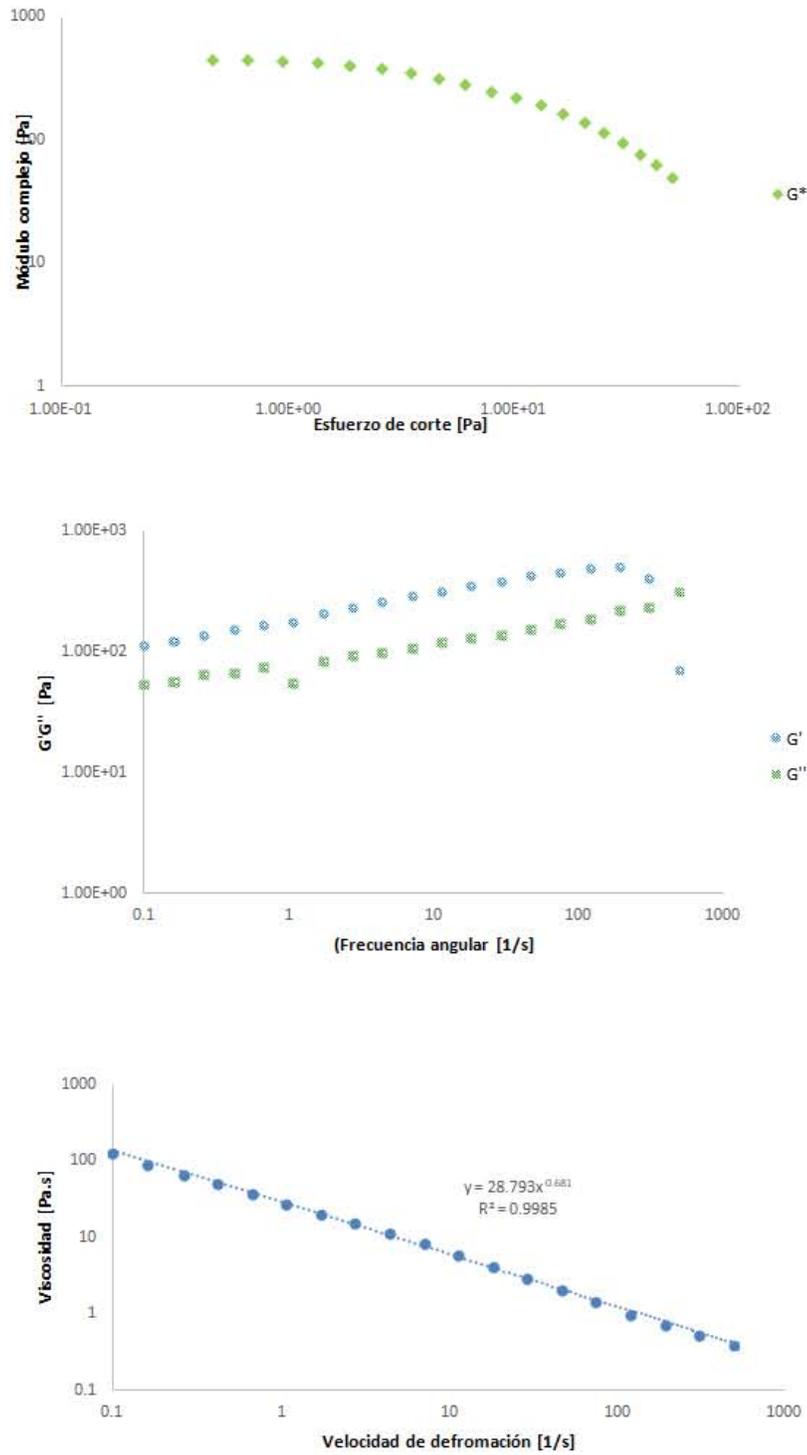


Figura 15. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.5 % de hidrocoloide.

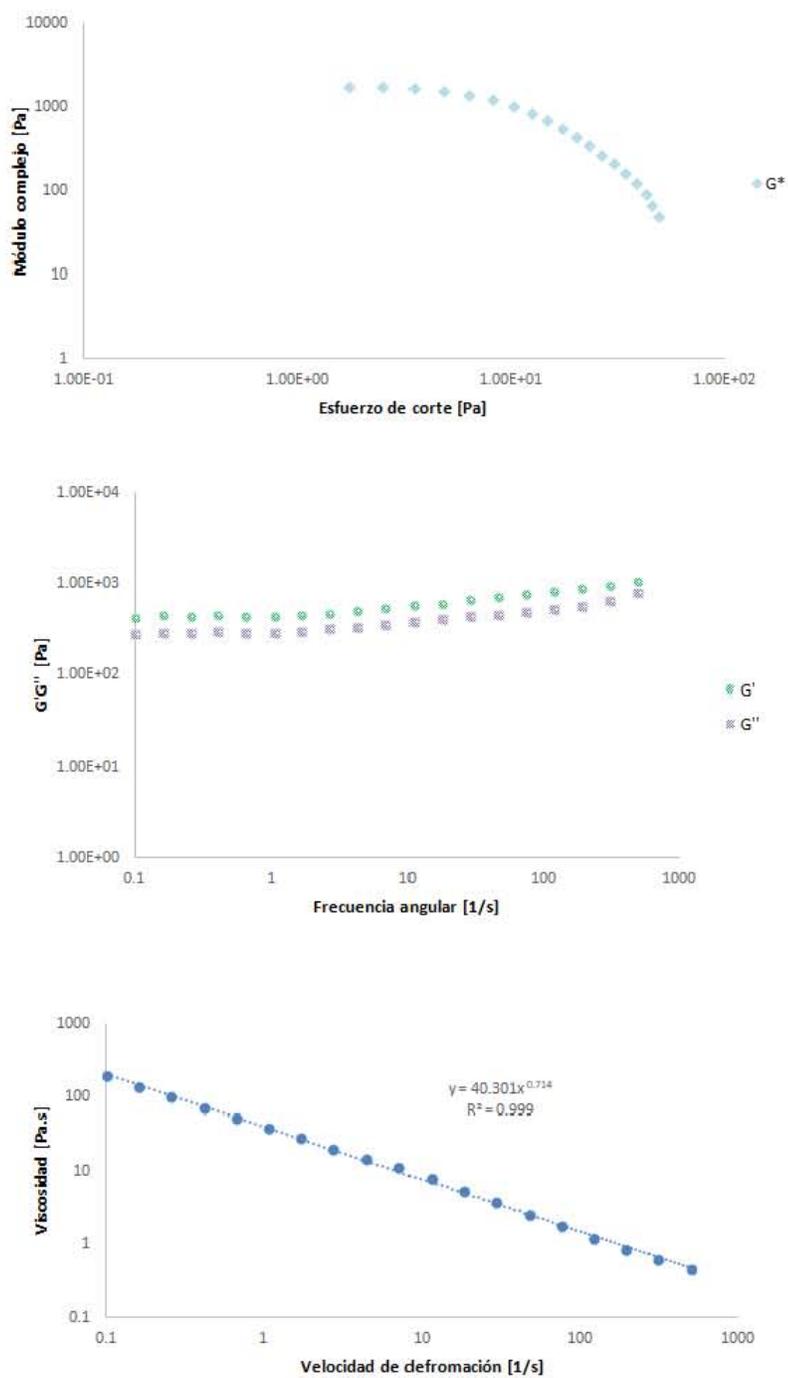


Figura 16. Curvas de amplitud, frecuencia y flujo para formulación 1 con 0.6 % de hidrocoloide.

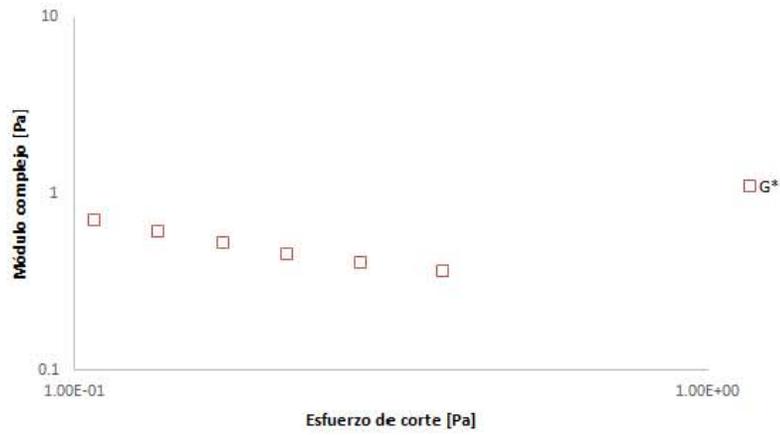
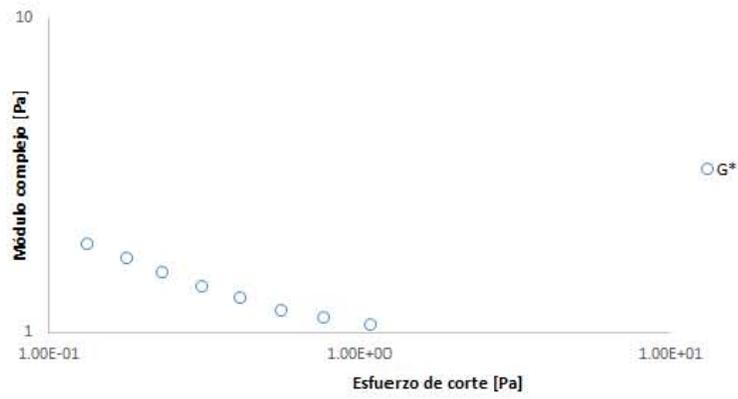


Figura 17. Curvas de amplitud para formulaciones 1, 2 y 3 sin hidrocoloide.

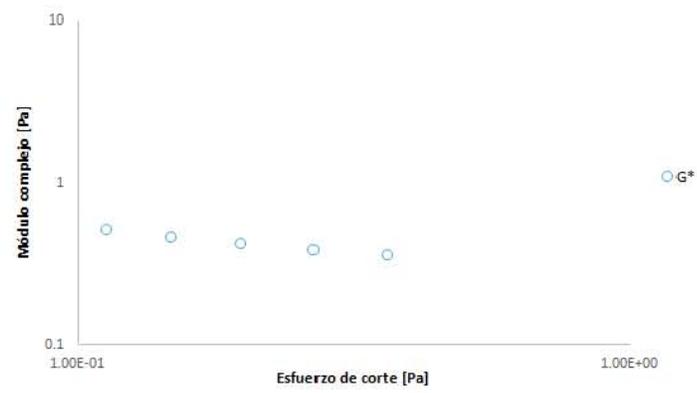


Figura 18. Curvas de amplitud para formulaciones 4, 5 y 6 sin hidrocoloide.

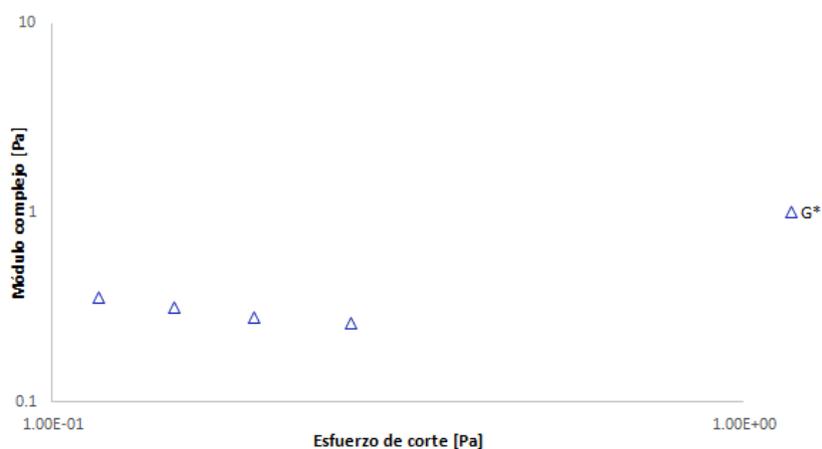


Figura 19. Curvas de amplitud para formulación 7 sin hidrocoloide.

Tabla 22. ANOVA índice de flujo (n) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	0.044	0.015	13.874	0.014
Error	4	0.004	0.001	Hay diferencia significativa	
Total corregido	7	0.048			

Tabla 23. Comparación por pares por Tukey de índice flujo (n) para F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.

Categoría	Media	Grupos	
0.1	0.457	A	
0.3	0.357	A	B
0.5	0.293		B
0.6	0.265		B

Tabla 24. ANOVA índice de consistencia (k) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	1359.487	453.162	101.633	0.000
Error	4	17.835	4.459	Hay diferencia significativa	
Total corregido	7	1377.322			

Tabla 25. Comparación por pares por Tukey índice de consistencia (k) de F1 a diferentes concentraciones de hidrocoloide.

Categoría	Media	Grupos	
0.6	39.525	A	
0.5	31.318	A	
0.3	14.258		B
0.1	6.843		B

Tabla 26. ANOVA índice de flujo (n) de las siete formulaciones.

Fuente	Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	Model	6	0.068	0.011	42.445	< 0.0001
Error	Error	7	0.002	0.000	Hay diferencia significativa	
Total corregido	Corrected Total	13	0.070			

Tabla 27. Comparación por pares por Tukey índice flujo (n) de las siete formulaciones.

Categoría	Media	Grupos	
1	0.525	A	
7	0.349		B
6	0.340		B
4	0.335		B
3	0.331		B
5	0.313		B
2	0.310		B

Tabla 28. ANOVA índice de consistencia (k) de las siete formulaciones.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	6	110.219	18.370	82.861	< 0.0001
Error	7	1.552	0.222	Hay diferencia significativa	
Total corregido	13	111.771			

Tabla 29. Comparación por pares por Tukey para índice de consistencia (k) de las siete formulaciones.

Categoría	Media	Grupos					
6	13.243	A					
2	12.416	A	B				
5	11.374		B	C			
4	10.388			C	D		
7	9.160				D	E	
3	8.459					E	
1	4.193						F

Anexo 6

Segunda prueba sensorial afectiva: nivel de agrado con consumidores

Cuestionario nivel de agrado

Sexo:

Edad:

Instrucciones: Frente a usted tiene 4 muestras, anote el código en el espacio correspondiente. Indique con una X en la escala que le parece el producto. Entre cada muestra enjuáguese y como un pedazo de galleta habanera. Gracias.

¿Qué tanto te gusta el producto en general?

Código	Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

¿Qué tanto te gusta el sabor del producto?

Código	Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

¿Qué tanto te gusta el dulzor del producto?

Código	Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

¿Qué tanto te gusta la textura del producto?

Código	Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo

Marca con una X las emociones que tuviste al degustar los suplementos

Código	triste	Me es indiferente	alegre	fuerte	incómodo	Con energía

¿Con qué frecuencia consumes suplementos?

Nunca 1 vez por semana 3 veces a la semana Diario 1 vez al mes

¿Qué marca de suplemento consumes?

¿Cuál es tu gasto mensual en suplementos?

Comentarios:

Imágenes utilizadas en la evaluación de emociones



Triste



Indiferente



Alegre



Fuerte



Incómodo



Con energía

Tabla 30. ANOVA para nivel de agrado en general de la formulación 1 con diferentes edulcorantes y concentraciones.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	77.487	25.829	9.845	< 0.0001
Error	396	1038.950	2.624		Hay diferencia significativa
Total corregido	399	1116.438			

Tabla 31. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en general.

Categoría	Media	Grupos	
Estevia 2.5	5.740	A	
Splenda 2.4	5.360	A	
Estevia 1.6	5.320	A	
Splenda 1.2	4.530		B

Tabla 32. ANOVA para nivel de agrado en sabor.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	87.588	29.196	10.540	< 0.0001
Error	396	1096.890	2.770		Hay diferencia significativa
Total corregido	399	1184.478			

Tabla 33. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en sabor.

Categoría	Media	Grupos	
Estevia 2.5	5.800	A	
Splenda 2.4	5.390	A	
Estevia 1.6	5.330	A	
Splenda 1.2	4.510		B

Tabla 34. ANOVA para nivel de agrado en dulzor.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	96.368	32.123	12.777	< 0.0001
Error	396	995.610	2.514		
Total corregido	399	1091.978			Hay diferencia significativa

Tabla 35. Comparación por pares por Tukey para nivel de agrado en dulzor.

Categoría	Media	Grupos		
Estevia 2.5	5.750	A		
Splenda 2.4	5.330	A	B	
Estevia 1.6	5.050		B	
Splenda 1.2	4.400			C

Tabla 36. ANOVA para nivel de agrado en textura.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	20.368	6.789	2.156	0.093
Error	396	1247.210	3.150		No hay diferencia significativa
Total corregido	399	1267.578			

Tabla 37. Porcentaje de frecuencia de emociones.

Frecuencia (%)				
Emoción	Splenda 2.4	Splenda 1.2	Estevia 2.5	Estevia 1.6
Triste	4	7	2	6
Me es indiferente	48	55	49	49
Alegre	25	12	30	21
Fuerte	4	6	2	3
Incómodo	12	19	13	14
Con energía	7	1	4	7

Anexo 7.

Extenso publicado en memorias del Congreso "Latin Food 2016".

Mucilage of *Opuntia ficus indica* Production, Characterization and Application as a Dispersing Agent of Vegetable Protein Suspensions

III423

Salazar-Ramírez, P.P.¹, Sanvicente-Amaya, S.M.¹, Barajas-Montiel, M.A.¹, Blancas-Cabrera, A.², Reyes-Ocampo, I.¹, Durán, J.C.¹ and Córdova-Aguilar, M.S.^{1*}

¹Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, Apdo. Postal 70-186.

²Unidad de Bioprocesos, Departamento de Biología Molecular y Biotecnología, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Circuito Mario de la Cueva, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, Apdo. Postal 70228.

*Corresponding author.

e-mail: marisol.cordova@ccadet.unam.mx; teléfono: +52 (55) 56.22.86.02, ext. 1312. Fax: +52 (55) 56.22.86.20

1. Introduction

The mucilage obtained from *Opuntia ficus indica* is a high molecular weight heterogeneous polysaccharide that in view of its chemical composition may be used as dispersing agent in suspensions, since it has been found that this hydrocolloid modifies its viscous properties (1). These qualities make this hydrocolloid attractive for the formulation of certain alimentary products. However, as at the present time, it is obtained by precipitation with solvents, such as acetone or alcohols, with low yields and high production cost, this kind of mucilage may not be suitable for foodstuff processing (2). In this work, a solvent-free mechanical extraction method has been applied for the extraction of *Opuntia ficus indica* mucilage, in order to improve the yield, obtain a generally recognized as safe (GRAS) mucilage that would be used as dispersing agent in hypoenergetic suspensions of vegetable protein for patients with bariatric surgery in the second stage after the intervention (general liquids stage). The experimental strategy consisted of developing a high performance extraction method followed by chemical and rheological characterization of mucilage obtained and the evaluation as dispersing agent.

2. Materials and methods

2.1 Mucilage extraction and dry procedures

Fresh cladodes of *Opuntia ficus-indica* from Milpa Alta, Mexico, were washed with water, chopped into small slices and milled in a blender for 5 min. The cactus chaff was mechanically pressed and the juice obtained was filtered in several stages and refrigerated at 4°C in order to keep it fresh. It was filtered by gravity, simple vacuum filtering and with *Kieselguhr* filter aid. Finally, the mucilage solution was dried by a Niro Atomizer® spray dryer to obtain mucilage powder. The process flow diagram is illustrated in *Figure 1*.

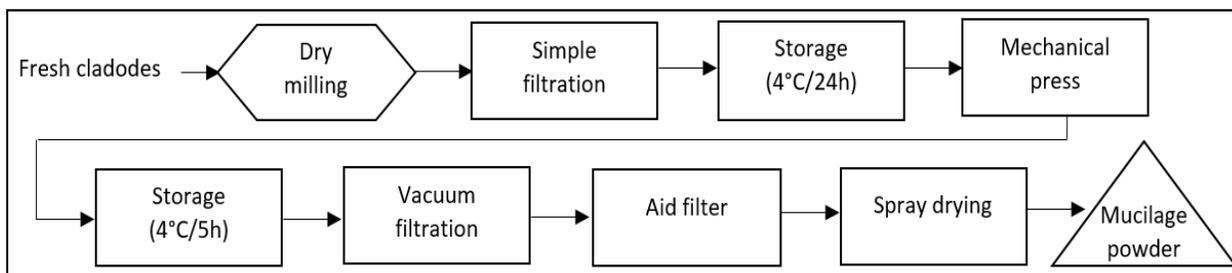


Figure 1. Flow diagram of *Opuntia ficus indica* mucilage production.

2.2 Chemical characterization

The proximate chemical analysis of the mucilage was performed according to the AOAC Method (3), while the chemical characterization was carried out by thin layer chromatography, doing some changes in regard to the reference such as the standard solution concentrations and the sample preparation instead of which it was used the hidrolized sample (4). Thin layer chromatography was performed after an acid hydrolysis with sulfuric acid 6% v/v, heated at 80°C and reflux. Chemical characterization was performed to elucidate the real composition of the mucilage polysaccharide. The stationary phase was glass plate with a thin layer of silica gel (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG DC-Fertgplatten SIL G-25). Mucilage polysaccharide hidrolized samples of 50 µl (pH 4.0-5.0) were applied to the thin-layer chromatography plate with standardized micropipettes. The mobile phase was a 2:1:1 mixture of 1-butanol: acetic acid: distilled water and as developer: ethanol: distilled water: sulfuric acid ratio 20: 20: 1 was used and also the chromatography plate was heated at 100°C. Standard solutions of arabinose, galactose, rhamnose, xylose and galacturonic acid were prepared with a concentration of 1000 ppm.

2.3 Rheological measurements

Mucilage powder was suspended in water, apple juice and skim milk at 5, 10 and 20% (w/w). Such liquid matrixes were selected on the basis of the requirements of the early postsurgical scheme of bariatric patients, which indicates that at the second stage after surgery, it is imperative to consume only liquids such as water, skim milk or fruit juices. Steady-state viscous flow tests were carried out in a rotational rheometer (MCR101, Anton Paar Physica®, Austria) equipped with a cone and plate geometry (50 mm diameter, 0.1 mm gap). After obtaining the flow curves for each case, it was observed that they fitted into the power law model. All measurements were carried out at 25 °C and by triplicate. The statistical analysis was performed with an one-way analyses of variance (ANOVA, $\alpha=0.05$) using the software Graph Pad Prism®, version 6.07. The analysis looked for wether or not there were significant differences of the suspensions of mucilage powder with respect to the rheological properties of the reference fluids such as Thin and Nectar type, Barium Sulfate Suspensions (BSS) Varibar® from E-Z-EM, Canada Inc. (Lake Success, NY).

2.4 Sedimentation tests

Sedimentation tests were used to demonstrate that the mucilage could be used as dispersing agent in vegetal protein intakes of people who are nutritionally compromised as the postsurgical bariatric patients. The sedimentation test was composed by qualitative and quantitative evaluations. Four flour mixtures of cereals and legumes were tested: oats and lentils, broad beans and quinoa, lentils and quinoa, beans and quinoa (each one at 1% w/w). It was selected 10% w/w of mucilage resuspended in skim milk as sample and skim milk without mucilage as control. Using these concentrations, energy and nutritional requirements of bariatric patients were covered consuming intakes of 50 mL

every 30 minutes throughout one day. Milk is a complex food matrix which color difficults the observation of sedimentation, therefore an image analysis technique was implement to evaluate the sedimentation of flour mixtures. The qualitative evaluation consisted of stirring suspensions for 1 min, once stopped agitation, a video was recorded using a camera Logitech HD Pro® Webcam C920 with a duration of 30 min; finally the initial and last images were compared. In the quantitative test, after homogenizing for 1 min, the suspensions were centrifuged (BHG ROTO-UNI®) at 500 rpm, one minute and the percentage of sedimented flour (dried basis) was determined to evaluate the stability of the suspensions.

3. Results and Discussion

Extraction yields of mucilage was 98.90 % with reference to fresh cladodes after the dry milling step, whereas 85.90 % after mechanical press and 70.01%, after vacuum and filter aid steps. Extraction yield of mucilage after spray drying process was 1.60 % (measured on wet basis). This value that is significantly higher, than those reported for extraction with organic solvents: 0.07% (5), 1.0-1.2% (6) and 1.48 % (2).

The proximate analysis of the mucilage reports that the major part of the composition are carbohydrates (62.68 %) and ashes (25.93%), while low content of lipids (0.71%) and crude protein (7.65%) were also found. The ash content suggests a high mineral quantity, making feasible to use mucilage in formulations for bariatric patients, which require coverage deficiencies of selenium, copper, zinc and calcium. In the light of this data, it is worth to perform a more detailed analysis to identify and quantify the minerals in the mucilage samples. It is also important to consider the contents of lipids, crude protein and carbohydrates of the mucilage in the energy and nutritional formulations in order to accomplish the requirements of the hypocaloric bariatric diet which indicates the importance of the consumption of 600 kcal at most daily and also sets the percentage in which the macronutrients must cover such amount of energy (20-30% from lipids, 40-50% from carbohydrates of which it must be 5% simple sugars at most).

The thin layer chromatography showed that the main components of the mucilage polysaccharide extracted from *Opuntia ficus indica* of Milpa Alta, Mexico (*Figure 2*) are arabinose (R_f : 0.51) and galactose (R_f : 0.48). That results are consistent with those reported in the literature for the mucilage from different species of *Opuntia*, though different authors also reported the presence of other sugars such as xylose, rhamnose and also galacturonic acid (2, 7).



Figure 2. Thin layer chromatography plate with mixture of simple sugar standards and two samples of mucilage (from left to right): a) arabinose, xylose, mucilage 1 and mucilage 2; b) galacturonic acid, galactose, rhamnose, all standards.

The viscosity curves of all the mucilage powder suspensions showed shear-thinning behavior in all cases. While the concentration of suspended mucilage increased, viscosity also increased. This result is consistent with that reported before (8). The ANOVA showed significant differences of the mucilage suspensions in water and apple juice with respect to the rheological properties of the reference fluids (Varibar®), but mucilage powder suspended at a concentration of 10% w/w in skim milk had a similar behavior to Thin BSS (Figure 3). Therefore, this concentration was selected for the sedimentation tests.

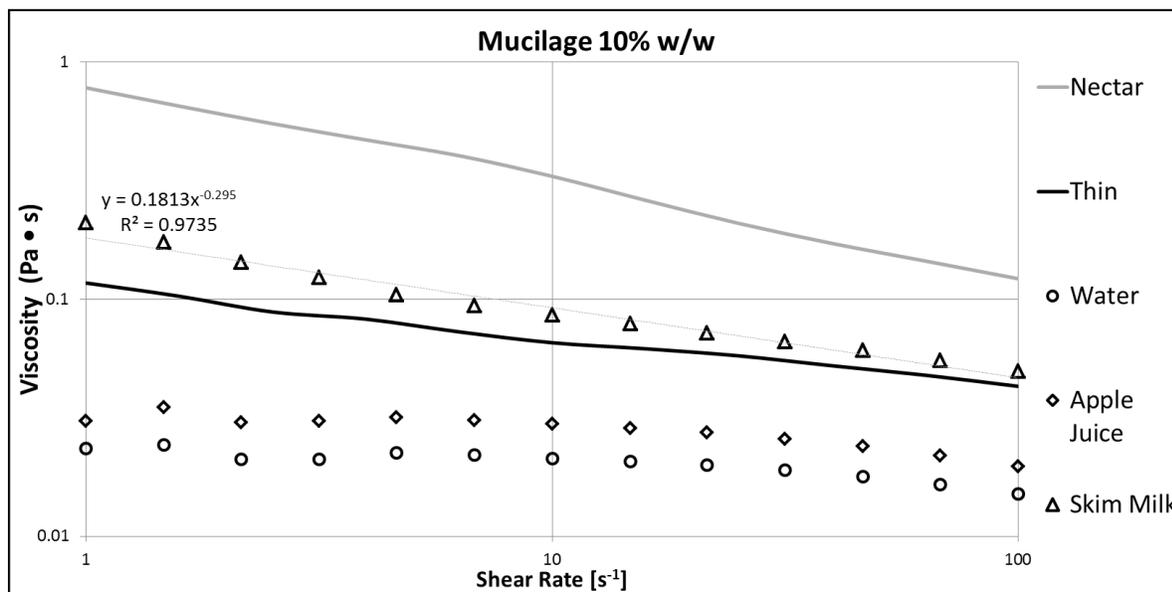


Figure 3. Steady-state viscous curves for mucilage powder suspended in water, apple juice and skim milk at 10% (w/w) compared with BSS Thin and Nectar type.

The dispersing capability of the mucilage was evaluated in the sedimentation tests. It was observed that after stopping agitation (*Figure 4*), in the control samples (without mucilage), all the flour mixtures promptly sediment while in the samples with 10% w/w of mucilage no settling was observed, even after 30 min, time in which patients would consume the next intake.

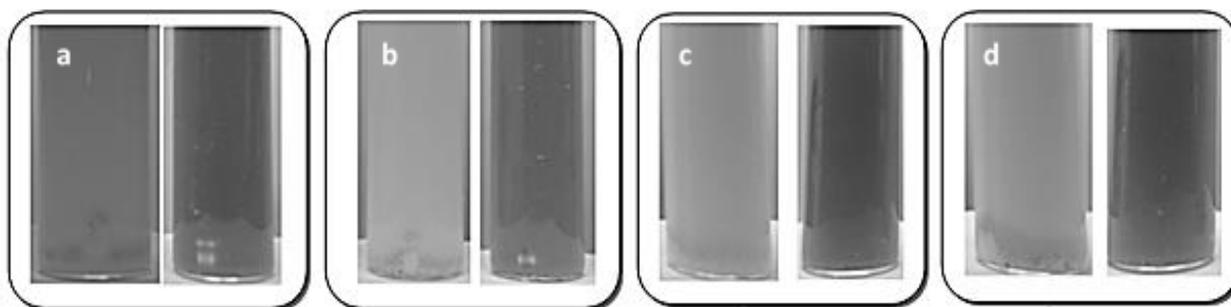


Figure 4. Sedimentation test: left tube corresponds to the control sample, without mucilage and the right one, the sample with mucilage 10% w/w for each image;

from left to right: a) oats and lentils, b) broad beans and quinoa, c) lentils and quinoa, d) beans and quinoa.

Besides, the sedimentation test showed that after centrifugation, the sediment percentage were different in each mixture and also that such percentage was higher in control samples than those with mucilage. The latter behavior was expected because in regard to the image analysis, the mucilage of *Opuntia ficus indica* was an efficient dispersing agent of the suspensions, however the stability of them decreases when it is applied a mechanical effort such as the centrifugation. The sediment percentages for control samples were: 1.45% for oats and lentils, 1.39% broad beans and quinoa, 1.49% for lentils and quinoa and beans and quinoa mixture 1.45%; whereas in samples with mucilage: 0.85% oats and lentils mixture 0.73% for broad beans and quinoa, 1.08% lentils and quinoa, and 0.62% for beans and quinoa. These differences may be due to mixtures with the more dense flours have enlarged sedimentation. Therefore the highest sediment percentage was the one of the lentils and quinoa mixture in both cases.

4. Conclusions

A solvent-free mechanical extraction high performance process of mucilage was developed. This mucilage is feasible to be used in food processing as it is a GRAS product. The mucilage powder could be used as a dispersing agent in vegetable protein suspensions at the concentration of 10% w/w using skim milk, since it avoids sedimentation even for dense mixtures.

5. References

1. Sáenz, C., Sepúlveda, E., Matsuhiro B. (2004). *Opuntia spp.* mucilage's: A functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57, 275-290.
2. Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., Aceituno C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia spp.* *Journal of Arid Environments*, 68, 534-545.
3. Association of Official Analytical Chemists, (1990). *Official Methods of Analysis (Volume I)*. 15th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
4. Pelayes, C., Garay, P. (2009). Cromatografía en capa fina para carbohidratos. Departamento de Fisicoquímica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2, 152-157.
6. Sáenz, C., Sepúlveda, E. (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Alimentos* 18 (3), 29-32.
7. Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H., Chávez-Moreno, C., Macías-Rodríguez, L., Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M., Chacón-García, L., (2014). Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering*. 282-292.
8. Medina-Torres, L., Brito-De la Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B., Katthain, R., (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids* 14 (5), 417-424.

Anexo 8. Cartel expuesto en congreso "Latin Food 2016".



Mucilage of *Opuntia ficus indica* Production, Characterization and Application as a Dispersing Agent of Vegetable Protein Suspensions

Salazar-Ramírez, P.P.¹, Sanvicente-Amaya, S.M.¹, Barajas-Montiel, M.A.¹, Blancas-Cabrera, A.²,
Reyes-Ocampo, I.¹, Durán, J.C.¹ and Córdova-Aguilar, M.S.^{1*}



¹Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510, México, Apdo. Postal 70-186

²Unidad de Bioprocesos, Departamento de Biología Molecular y Biotecnología, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México, AP. 70228, México, D.F., CP. 04510, México.

*Corresponding author. E-mail: marisol.cordova@ccadet.unam.mx; Teléfono: +52 (55) 56.22.8602, Ext. 1312. Fax: +52 (55) 56.22.8620

INTRODUCTION

The mucilage obtained from *Opuntia ficus indica* is a high molecular weight heterogeneous polysaccharide that in view of its chemical composition may be used as stabilizing agent in suspensions, since this hydrocolloid has been found that modifies the viscous properties. These qualities make this hydrocolloid attractive for the formulation of certain food products. However, at the present time the mucilage is obtained by precipitation with organic solvents, with low yields and high production cost. In this work, a solvent-free mechanical extraction method has been applied for the extraction of *Opuntia ficus indica* mucilage in order to improve the extraction yield and to use it as dispersing agent in hypoenergetic suspensions of vegetable protein for patients with bariatric surgery in the second stage after the intervention (general liquids stage). The experimental strategy consisted of developing a high performance extraction method including the chemical and a rheological characterization of mucilage obtained and the evaluation as dispersing agent.

METHODOLOGY

a) Mucilage extraction and dry procedures



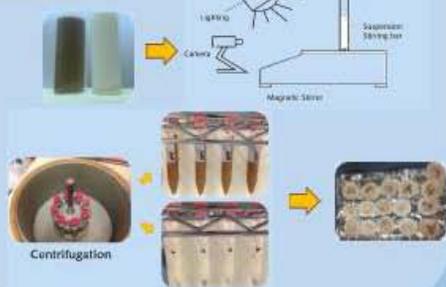
b) Chemical characterization



c) Rheological measurements



d) Sedimentation tests



CONCLUSIONS

A solvent-free mechanical extraction high performance process of mucilage was obtained. This mucilage is feasible to be used in food processing as it is GRAS product. The mucilage powder could be used as a dispersing agent in vegetable protein suspensions at the concentration of 10% w/w using skim milk, since it avoids sedimentation even for dense mixtures.

RESULTS

a) Mucilage extraction and dry procedures

Table 1. Yields and products of the mechanical extraction process of *Opuntia ficus indica* mucilage.

Operation	Products	Yield (%)
Dry milling	Milled cladodes	98.90 ± 0.34
Mechanical press	Cactus chaff Cactus Juice	85.90 ± 1.10
Vacuum and aid filtration	Mucilage	70.01 ± 2.87
Spray drying	Mucilage powder	1.60 ± 0.36



b) Proximal Analysis

Table 2. Proximal Analysis of *Opuntia ficus indica* mucilage powder.

Determination	Content (%)
Dry matter	96.96
Moisture	3.03
Crude Protein (Nitrogen*6.25)	7.66
Ether extract	0.71
Ash	25.98
Crude fiber	0.02
Carbohydrates	62.66

Figure 1. Thin layer chromatography plate with mixture of simple sugar standards and two samples of mucilage (from left to right): a) arabinose, xylose, mucilage 1 and mucilage 2, b) galacturonic acid, galactose, rhamnose, all standards.

c) Rheological measurements



Figure 2. Steady-state viscosus curves for mucilage powder suspended in water, apple juice and skim milk at 10% w/w compared with BSS Thin and Nectar type.

d) Sedimentation test



Figure 3. Sedimentation test: left tube corresponds to the control sample, without mucilage and the right one, the sample with mucilage 10% w/w for each image; from left to right: a) oats and lentils, b) broad beans and quinoa, c) lentils and quinoa, d) beans and quinoa (each one at 1% w/w).

REFERENCES

- Silero, C., Sepúlveda, I., Matsusho, B. (2004). *Opuntia* spp. mucilage: A functional component with industrial perspective. *Journal of Anti Environments*, 37, 235-260.
- Sepúlveda, I., Silero, C., Aliaga, L., Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Anti Environments*, 40, 534-543.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H., Chávez-Moreno, C., Macías-Rodríguez, L., Zavala-Mendoza, E., García-Ramos, M., Charón-García, L. (2004). Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering*, 282-292.

Anexo 9.

Memorias publicadas en "Simposio Internacional de ciencia y tecnología de Alimentos, Villahermosa, Tabasco 2016"

DISEÑO DE SUPLEMENTOS DE PROTEÍNA VEGETAL PARA PACIENTES CON SÍNDROME DE MALABSORCIÓN

Sanvicente-Amaya, S.M.^{1*}, Salazar-Ramírez, P.P.¹, Barajas-Montiel, M.A.¹, Vázquez Cárdenas, P.² and Córdova-Aguilar, M.S.^{1**}

¹Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510, México, Apdo. Postal 70-186.

² Clínica de Obesidad, Hospital General Dr. Manuel Gea González, Calzada de Tlalpan, 4800 Col. Sector XVI, C.P. 14080, México, D.F., México.

Resumen:

El síndrome de malabsorción se define como una alteración en la asimilación de nutrientes que puede ser producida por la hidrólisis defectuosa de nutrientes o la alteración de la absorción mucosa de los nutrientes. Se desarrollaron diferentes formulaciones a base de proteína vegetal como una alternativa para favorecer un balance nitrogenado positivo y reducir la pérdida de masa magra en los pacientes con el síndrome descrito. Se llevó a cabo la extracción libre de solventes del mucílago de *Opuntia ficus indica* con un posterior secado por aspersión; a través de un análisis de imágenes se evaluó su capacidad como agente dispersante de las mezclas de harinas siguientes: avena y lenteja, haba y quinoa, lenteja y quinoa, así como frijol y quinoa. Dichas mezclas fueron definidas con base en el Análisis Químico Proximal (AQP) y el perfil de aminoácidos obtenidos de la Base de Datos de Nutrimientos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y de la FAO/OMS, respectivamente. Con las técnicas antes descritas se comprobó la capacidad como agente dispersante del mucílago de nopal.

Palabras clave: *proteína vegetal, mucílago, agente dispersante.*

1. Introducción

Una limitada ingesta de alimentos y el síndrome de malabsorción se presenta por disminución de la capacidad digestiva, por incremento de la motilidad intestinal o en su caso, por disminución de la superficie digestivo-absortiva, como en el caso de la cirugía bariátrica. El síndrome de malabsorción causa diferentes alteraciones, fundamentalmente pérdida de peso, anemia y desnutrición. Estos pacientes requieren de dietas que les permita recibir todos los requerimientos de nutrimentos, principalmente proteína, la cual es el más importante que ayuda a mantener la masa magra (Johnson-Stoklossa and Atwal, 2013). Probar la efectividad clínica de suplementos diseñados para estos fines requiere de condiciones controladas y de una población específica con variables conocidas. Por ello se seleccionó como modelo controlado a una población de pacientes que accede a la Clínica de Obesidad

del Hospital General Dr. Manuel Gea González, ya que ofrece la cirugía bariátrica como un método eficaz para reducir la morbilidad resultante de la obesidad extrema. Como consecuencia de esta cirugía, los pacientes presentan una limitación en la absorción de diferentes nutrientes o el síndrome de malabsorción (Handzlik-Orlik et al., 2015), en los cuales es posible evaluar la efectividad clínica de los suplementos de proteína vegetal propuestos. Los suplementos proteínicos que se recomiendan por ser ampliamente tolerados son harinas de algunas legumbres (frijol, haba, lenteja), fécula de papa o de cereales como amaranto o avena. En la mayoría de las ocasiones, estas harinas al suspenderse en líquidos tienden a separarse e irse al fondo, ocasionando una consistencia no homogénea y con un perfil de rechazo sensorial. Mediante el uso de hidrogeles es posible la formación de una textura homogénea y estable, dándoles así un aspecto de aceptación mayor a estas mezclas. El mucílago de *Opuntia ficus indica* es un heteropolisacárido de alto peso molecular que se puede utilizar como agente dispersante. Por tanto, se propone el diseño de suplementos de alto valor nutritivo, a base de leguminosas y cereales sobre matrices alimenticias líquidas como leche, para su aplicación en dietas postoperatorias bariátricas en etapa 2.

2. Materiales y Métodos

2.1 Obtención del polvo de mucílago

Sustrato. Nopal fresco (*Opuntia ficus indica*) de Milpa Alta, México.

Obtención de polvo de mucílago. Se llevó a cabo de acuerdo al diagrama de la *Figura 1*. Se realizó una molienda en seco utilizando una licuadora Hoffmann-Pinther & Bosworth, S. A. La mezcla se dejó en un filtro (poros de 2 x 2 mm) durante 24 h a 4°C. Se exprimió el bagazo y el jugo se dejó reposar por 5 horas a 4°C para filtrar de forma consecutiva, a través de papel filtro de poro abierto, papel filtro (retención de partículas de 8 µm) y tierras diatomeas. Finalmente el jugo obtenido se secó por aspersión (135°C, flujo de entrada y 90°C, flujo de salida).

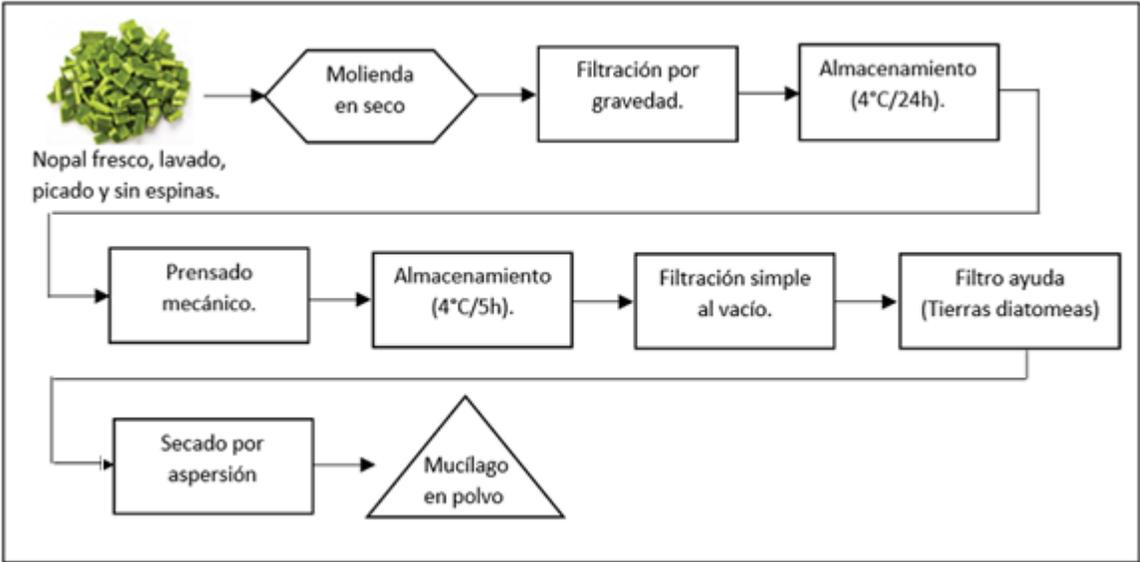


Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención del mucílago de *Opuntia ficus indica*.

2.2 Caracterización bromatológica de mucílago en polvo

El Análisis Químico Proximal (AQP) se realizó de acuerdo al Método AOAC 1990, que consiste en determinar: Humedad, mediante secado en horno; Extracto Etéreo, mediante el método de Soxhlet; Cenizas, por incineración; Fibra Cruda, por digestión ácida y alcalina y Proteína Cruda, por el método Kjeldahl (Factor: 6.25).

2.3 Elaboración de mezclas

Para el desarrollo de las mezclas, fueron propuestas harinas de diferentes cereales, legumbres y semillas. Para cada una de ellas se obtuvo un Análisis Químico Proximal teórico, así como su perfil de aminoácidos obtenidos de la Base de Datos de Nutrimientos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Para proponer las diferentes mezclas de harinas, se tomó como referencia los requerimientos nutrimentales que debe cumplir una dieta para pacientes sometidos a cirugía bariátrica en etapa 2 (líquidos generales), los cuales fueron proporcionados por la MSc. Paola Vázquez Cárdenas, Nutrióloga de la Clínica de Obesidad del Hospital General Dr. Manuel Gea González. Dichos pacientes no deben rebasar un consumo de 600 kcal al día; las muestras líquidas ingeridas no deben ser mayores a 50 mL y deben consumirse cada 30 min. En esta etapa se busca la incorporación y complementación de proteínas a la dieta así como el inicio de otros macro y micronutrientes; para mujeres se recomienda un consumo de 60 g de proteína al día, mientras que para hombres 80 g de proteína al día, para el fin del desarrollo de las mezclas, se tomó como referencia un aporte de 30% de la energía total de la dieta, por parte de los carbohidratos un aporte del 50% (no más de 5% de carbohidratos simples) y un 20% el aporte de los lípidos.

Debido a que las muestras deben ser líquidas en esta etapa, se pensó en la suspensión de las harinas en una matriz líquida: leche descremada, debido al aporte nutrimental y calórico que aporta, así como la complementación que tendría con las mezclas; tomando en cuenta que los suplementos deben ser bajos en grasa y con un alto contenido en proteína.

Para asegurar la calidad proteínica de las mezclas, se recurrió a la calificación química de los aminoácidos, la cual se calculó dividiendo la cantidad de cada aminoácido esencial entre la cantidad "ideal" para el aminoácido en gramos de la proteína de referencia; los patrones sugeridos se tomaron de la FAO/OMS. Conociendo este parámetro, fue posible establecer mezclas a partir de la complementación de harinas deficientes en aminoácidos limitantes con harinas con esos mismos aminoácidos pero en abundancia.

2.3 Pruebas de dispersión

La estabilidad de las suspensiones formuladas se determinó a través de un análisis de imágenes. La prueba consistió en agitar las suspensiones con mucílago (mucílago en polvo al 10% p/p, mezcla de harinas al 1% cada una suspendidas en leche descremada) y sin mucílago (mezcla de harinas al 1% cada una suspendidas en leche descremada) durante 1 minuto, una vez que se dejó de agitar, se grabó un video utilizando una cámara Logitech® HD Pro Webcam c920 con una duración de 30 minutos (tiempo en que los pacientes deben tomar la siguiente toma). Comparando las imágenes iniciales y finales, fue posible evaluar la capacidad como agente dispersante del mucílago.

3. Resultados y Discusión

3.1 El rendimiento de mucílago reportado con respecto a la masa de nopal fresco sometido a la extracción por mezclado, filtración y secado, libre de solventes fue de 1.60%, que es considerablemente mayor al obtenido utilizando solventes orgánicos como parte del proceso de extracción, como lo reporta Cárdenas, *et al.*, 1997 al obtener 0.07% con respecto a los cladodios frescos, por su parte Sáenz y Sepúlveda, 1993 reportaron un rendimiento entre 1.0 y 1.2% y Sepúlveda *et al.*, 2007 obtuvo 1.48% de rendimiento.

En el AQP expresado en la *Tabla 1* es posible observar que el contenido de lípidos en el mucílago es de 0.71%, lo que favorece su posterior aplicación como agente dispersante en las matrices alimentarias que ingerirán los pacientes obesos después de la cirugía bariátrica, es deseable que los lípidos se encuentren entre el 20 y 30% del aporte total de energía en su dieta diaria, poniendo especial atención en que en su mayoría sean insaturados. En cuanto al contenido de cenizas, se obtuvo 25.93%, lo que indica que el mucílago posee una cantidad alta de minerales, no obstante que es conveniente realizar un análisis más detallado para identificar y cuantificar los minerales que contiene el mucílago. Cabe señalar que los pacientes bariátricos requieren cubrir deficiencias de Selenio, Cobre, Zinc y Calcio, y si están presentes en el Mucílago, sería de mucha utilidad.

Con respecto al contenido de proteína cruda (7.65%), es decir el contenido total de Nitrógeno de origen proteínico y no proteínico, es menor al de algunos otros alimentos reportados en la Base de Datos de Nutrimientos para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) como lo son los cereales, como avena (16.9 %) y trigo (harina, 13.2 %), algunas legumbres como cacahuate (cocido, 13.5 %) y soya (18.2%) y semillas como ajonjolí (tostado, 17 %) y nuez (tostada, 24.1 %), es por ello que se pretende utilizar harinas de dichos grupos de alimentos como principal aporte proteínico en las suspensiones que se desarrollarán para alimentar a pacientes bariátricos. Finalmente el Extracto Libre de Nitrógeno, proporciona información respecto a la cantidad de hidratos de carbono presentes en el mucílago de nopal.

Tabla 1. Análisis Químico Proximal del mucílago de nopal en polvo

Determinación	Contenido (%)
Materia seca	96.98
Humedad	3.03
Proteína Cruda (Nitrógeno*6.25)	7.65
Extracto Etéreo	0.71
Cenizas	25.93
Fibra Cruda	0.02
Extracto Libre de Nitrógeno	62.68

Nota: Los resultados se expresan en base húmeda

3.2. Las dietas para pacientes que fueron sometidos a cirugía bariátrica en etapa 2 (líquidos generales), se basan en un consumo máximo de 600 kcal al día, por lo que para el desarrollo de las formulaciones propuestas, se eligió a la leche Lala® (descremada) como principal matriz líquida para la suspensión de las harinas. Dicho paciente debe ingerir alrededor de 32 tomas líquidas diarias de 50 mL cada media hora, por lo que se calculó aproximadamente las kcal que el paciente debe ingerir por muestra (suponiendo que se agrega solamente 25 mL de la matriz líquida) resultando un total de 18.75 kcal por muestra, de las cuales 10.2 kcal provienen de la leche, por lo que las 8.55 kcal restantes deberán provenir de los macrocomponentes de las harinas. En la *Tabla 2*, se muestran las kcal, así como los gramos calculados que debieron cubrir idealmente las mezclas de harinas para cada uno de los macronutrientes.

Tabla 2. Requerimientos energéticos y nutrimentales de las mezclas utilizando leche descremada como matriz líquida.

Matriz líquida/ Macrocomponentes	Proteína (kcal-g)	Lípidos (kcal-g)	Carbohidratos (kcal-g)	Carbohidratos simples (g)
Leche Lala®	2.57 kcal - 0.64 g.	1.71 kcal - 0.19 g	4.27 kcal - 1.07 g	0.05 g

Se estableció la adición de dos harinas como máximo (1% c/u). Con base en los AQP teóricos obtenidos para cada uno de los posibles componentes fueron seleccionadas las harinas viables, es decir, que cumplieran con los requerimientos antes descritos en la *Tabla 2*. Cabe mencionar que se tomaron como consideraciones que estuvieran dentro o muy cerca de los valores calculados para cada macronutriente y que además cumplieran mínimamente con dos de los mismos. Posteriormente se recurrió a la calificación química de los aminoácidos, que es un parámetro que evalúa la calidad proteínica de un alimento, indicando la proporción en la que se encuentra un aminoácido indispensable

limitante con respecto al patrón de referencia (aminoácido indispensable limitante es el más escaso con respecto a dicho patrón), (Casanueva *et al.* 2001), con dicho parámetro se asegura la calidad proteínica de las mezclas, así como un adecuado balance de aminoácidos esenciales y no esenciales. Para poder calcular dicho parámetro se obtuvo un perfil teórico de aminoácidos para cada una de las harinas seleccionadas, obtenido de la Base de Datos de Nutrientes para Estándares de Referencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), reportado en g de aminoácido/100 g, dichos valores fueron divididos de acuerdo a los patrones sugeridos considerados como ideales, obtenidos de la base de datos de la FAO/OMS. Solamente se realizó para los siguientes aminoácidos: Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina - Cisteína, Fenilalanina - Tirosina, Treonina, Triptófano y Valina.

Finalmente, las mezclas de harinas viables presentadas en la *Tabla 3* se definieron de acuerdo a la calificación química de aminoácidos, es decir, para cada harina se determinó cuál o cuáles eran sus aminoácidos limitantes así como también los aminoácidos abundantes. A partir de ello se formaron las mezclas, cubriendo la deficiencia principalmente de los aminoácidos limitantes; eligiendo una harina que tuviera en abundancia dichos aminoácidos deficientes.

Tabla 3. Análisis Químico Proximal (g/1 g)

Análisis Químico Proximal (g/1 g)						
Mezclas (0.5 g de c/u)	Energía (kcal)	Proteína	Lípidos totales	Ác. Grasos totales	Saturada Hidratos de Carbono a	Azúcares totales
Mezcla con Leche Light LALA® (50 g) (ρ Leche light LALA®=1.21 g/mL)						
Avena + Lenteja	20.77	1.59	0.50	0.31	0.39	0.24
Haba + Quinoa	21.14	1.58	0.50	0.315	0.43	0.24
Lenteja + Quinoa	21.17	1.60	0.50	0.32	0.34	0.24
Frijol + Quinoa	21.24	1.59	0.50	0.32	0.46	0.24

3.3

Al utilizar una matriz líquida tan compleja como la leche, se evaluó la dispersión del mucílago de nopal a través de análisis de imágenes. En las *Imágenes 1-4* se presentan la comparación de las suspensiones con y sin mucílago respectivamente. Se observa que en las suspensiones sin mucílago las harinas sedimentan completamente, es decir, no se observa dispersión de las mismas, sin embargo en las suspensiones con mucílago al 10%, se observa la distribución de las harinas a lo largo del tubo y el sedimento es nulo, comprobando que el mucílago en polvo funciona como agente dispersante.

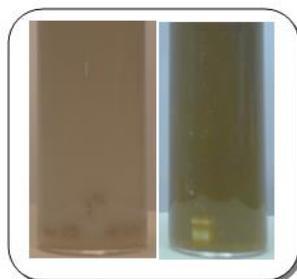


Imagen 1

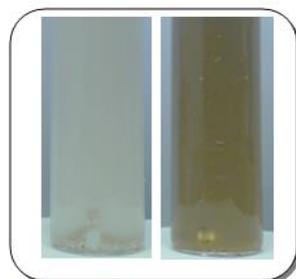


Imagen 2



Imagen 3

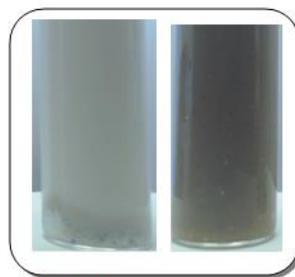


Imagen 4

Imagen 1.- Avena y lenteja sin y con mucílago; ***Imagen 2.-*** Haba y Quinoa sin y con mucílago; ***Imagen 3.-*** Lenteja y Quinoa sin y con mucílago; ***Imagen 4.-*** Frijol y Quinoa sin y con mucílago.

4. Conclusiones

Se logró formular varios suplementos a base de leguminosas, cereales y semillas como una alternativa para reducir la pérdida de masa magra en sujetos con una limitada ingesta de alimentos y malabsorción de nutrientes. Asimismo, se tiene un proceso de producción de mucílago en polvo con alto rendimiento y libre de solventes orgánicos, lo que lo hace factible como agente dispersante en matrices alimentarias, pues le proporciona la característica de GRAS. El análisis de imágenes indica que es viable su uso como agente dispersante para consumo de pacientes obesos sometidos a cirugía bariátrica. Es conveniente realizar las pruebas sensoriales para determinar aceptación de estas suspensiones, la prueba de efectividad clínica y determinar si favorecen un balance nitrogenado positivo.

Referencias

- Handzlik-Orlik, G., Holecki, M., Orlik, B., Wylezol, M. y Dulawa, J. (2015). Nutrition management of the post-bariatric surgery patient. *Nutr Clin Pract* 30, 383-392.
- Johnson-Stoklossa, C. y Atwal, S. (2013). Nutrition care for patients with weight regain after bariatric surgery. *Gastroenterol Res Pract*, 256145.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I., Goycoolea, F. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 2, 152-157.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E. (1993). Alternativas de industrialización de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Alimentos* 18 (3), 29-32.
- Casanueva, E., Kaufer-Horwitz, M., Pérez, A. y Arroyo, P. (2001). Nutriología Médica. *Proteínas*, 593.
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible en: https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods?qlookup=&fgcd=&manu=&SYNCHRONIZER_TOKEN=d8492b9d-461b-4c87-8a37-99a2e3824d51&SYNCHRONIZER_URI=%2Fndb%2Ffoods. Accesado: 26 de marzo de 2016.