



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

“Propiedades Adhesivas en alimentos
semisólidos comerciales con alto contenido
de lípidos y/o azúcar.”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
RITA CAROLINA CHÁVEZ LÓPEZ

*Asesores: IBQ. Norma B. Casas Alencáster
IA. Miriam Edith Fuentes Romero*



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

Propiedades Adhesivas en alimentos semisólidos comerciales con alto
contenido de lípidos y/o azúcar.

que presenta la pasante: Rita Carolina Chávez López
con número de cuenta: 30382459-6 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de octubre de 2010.

PRESIDENTE	<u>IBQ. Norma Beatriz Casas Alencaster</u>	
VOCAL	<u>Dra. María Eugenia Ramírez Ortíz</u>	
SECRETARIO	<u>MC. Leticia Zúñiga Gómez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>IA. Patricia Muñoz Aguilar</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dra. María Guadalupe Sosa Herrera</u>	

*El más feliz no es necesariamente
el que tiene “lo mejor de todo”,
sino el que saber sacar lo mejor de
todo lo que se le cruza en el camino.
Anónimo*

*El primer éxito no significa victoria y
el primer fracaso no significa derrota
Anónimo*

*No es cuánto hacemos,
sino cuánto amor ponemos en el hacer.
No es cuánto damos,
sino cuánto amor ponemos en el dar.
Madre Teresa de Calcuta.*

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A Dios por colocarme en el seno de la mejor familia en la que pude haber estado, porque en silencio me ha acompañado a lo largo de mi vida y sin pedirme nada a cambio, hoy me regala la alegría de ver realizado uno más de mis sueños. Guarda mi corazón cerca de ti y guíame día con día en el camino que lleva hacia a ti.

A mis padres **Gracias** por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de mi vida, por toda la ayuda recibida, ya que han hecho más ligero mi camino, por las palabras de aliento escuchadas en los momentos más difíciles, por todas las cosas, por la vida misma; y ahora que hago realidad uno de mis más caros anhelos quiero agradecer todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo. Hoy gracias a ustedes he llegado a comprender que no hay soluciones fáciles para problemas difíciles, que hay que luchar por lo que queremos, y que éste, es apenas el comienzo de una vida. Ahora me encuentro preparada para una existencia feliz, digna, libre y responsable. He aprendido que no es lo que tienes en la vida lo que cuenta, sino a quienes tienes en ella. LOS AMO!!!

A mi hermano por ser siempre mi compañero de juegos, risas, alegrías, castigos, enojos y demás, porque Dios no me pudo haber dado mejor persona para compartir a los dos ángeles que tenemos por padres.

A mis abuelos: Chela, Abuelote y Abuelita Lupita, porque los valores que infundieron a sus hijos han llegado hasta mí, para ser siempre una persona que camine con rectitud por la vida, con honestidad, llena de determinación para llegar a ser lo que quiera ser, sin importar los obstáculos que se puedan presentar durante este largo camino que me toca recorrer. Porque donde quiera que estén se que siempre estoy en sus oraciones y ustedes en mis pensamientos.

A mis tíos y tías: madrina Martha, Amo, Pepe, Laura, Rubén, Cuca y Miguel, por el apoyo, la complicidad, el cariño, el consejo e incluso el regaño en el momento oportuno, porque no cambiaría mi familia por nada del mundo.

A Yaya, Padrino Rubén y Gaby, por ser el ejemplo de que con esfuerzo, dedicación y mucha entrega se puede conseguir lo que sea que uno se proponga aunque haya que tener muchos tropiezos, la clave está en levantarse siempre para seguir; si hay alguien que yo admire, además de mis padres, es a ustedes.

A Dany y Angie quienes más que mi prima y mi sobrina son mis hermanas, compañeras y cómplices, gracias por todo su cariño y consejos.

A Miguelito, Pepe, Carlos y Ale porque siempre compartiremos nuestros logros y en pensamiento y corazón siempre estamos juntos.

A mis sobrinos: Rorris, Beto, Alessi, Diana y Shanti porque son las pequeñas luces que alegran mi vida.

A la maestra Norma Casas, mi asesora, por su gran dedicación hacia nuestros trabajos, por el apoyo incondicional y la guía que hoy me permite culminar el trabajo escrito de la tesis.

A mi tutora y asesora: Edith Fuentes, porque gracias a usted pude continuar con mi trabajo y proseguir con los trámites de la tesis sin demorarlos, por sus palabras de aliento cuando sentía que ya no podía en LEM IV, porque además de maestra ha sido una gran amiga.

To Teacher Erika Jiménez Baños who reminded me the meaning of the golden rule, because you taught me more than just English, taught me to never stop believing that there is always a peaceful solution to any circumstances, that the world can be a better place if all put our grain of sand, no matter what our career is, and that we must learn that although we do not understand why things happen are always for the greater good.

Al profesor Carlos Silva, quien siempre fue un gran apoyo y ejemplo durante mi estadía en el CET, por lo que lo recuerdo con mucho cariño.

A la Miss José Aliseda, porque por usted adquirí el gusto al teatro y a la lectura y por lo mismo a la cultura, muchas gracias por todos sus consejos, palabras de aliento y enseñanzas, los ensayos que realice bajo su tutela han servido de base para la redacción de esta tesis.

Al profesor Andrés Gutiérrez Ramos, porque sus enseñanzas hicieron más fácil mi aprendizaje durante la universidad, porque sus ejercicios me ayudaron a razonar más los problemas matemáticos y sus consejos me sirvieron para aprender a ser menos impulsiva en el momento de tomar decisiones.

A mis amigos CET, a Fany, Marisa, Jill, Rosy, Stefy, Ale Abogado, Astrid, Samira, Andrea Garza, Jessy Ladrón, Rafa Cisneros, Julio Meneses y Pato, porque a pesar de los años siempre puedo contar con su apoyo incondicional, sus palabras de aliento, sus consejos, su complicidad o su hombro para llorar, porque a través del tiempo me han visto crecer y madurar (unos más que otros) y aún así nuestra amistad sigue perdurando. Los quiero mucho a todos.

A mis amigos UNAM: a Raquel Palomo y Mario Martínez por ser mis ángeles de la guarda y mayores consejeros; a mis amadas brujas: Mariana, Wendy y Pao, porque a pesar de ser tan diferentes una de la otra por nada del mundo cambiara ninguna de nuestras vivencias, pues ellas hicieron que nuestra amistad sea tan fuerte como lo es ahora; a Lizbeth López y Rodolfo Beristain por su complicidad, apoyo y compañía; a Ilse, Bibi, Ingrid, Luisa, Ivonne (chaparrita), Vanessa, Johanna y Gina, porque no pude tener mejor compañía durante todas las clases, porque siempre fuimos un gran equipo y un grupito de niñas ñoñas muy unido; porque todas las cosas que pasamos juntos hicieron muy feliz mi estancia en la universidad, de todos tengo un muy lindo recuerdo y espero que nuestra amistad se mantenga por mucho tiempo.

Al Centro Escolar del Tepeyac y sus fundadores: Señor Carlos Herrera Álvarez de la Reguera y Miss Tita Amezcua, porque de esa maravillosa institución obtuve las bases para ser la estudiante que soy ahora y porque ahí crecí y fui muy feliz ya que conocí personas maravillosas tanto amigos como maestros que contribuyeron a la persona que soy ahora.

Y finalmente a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, porque me siento sumamente orgullosa de egresar de la máxima casa de estudios de Latinoamérica ya que me ha brindado los conocimientos para poder ser la ingeniera que quiero llegar a ser.

RESUMEN

Se estudiaron las propiedades adhesivas de diferentes alimentos semisólidos comerciales, mediante la variación del tipo y las condiciones de prueba, utilizando 3 tipos de 3 alimentos semisólidos comerciales con alto contenido de lípidos y/o azúcar, los cuales fueron: mayonesas, cajetas y cremas de cacahuete; de cada producto se utilizó uno con contenido normal de lípidos y/o azúcar, otro reducido en lípidos o en azúcar, es decir, light (ambos de la misma marca) y uno de marca libre, a excepción de la crema de cacahuete donde los tres tipos fueron de marca diferente. Las pruebas que se realizaron fueron adhesividad por penetración y retirada y adhesividad por contacto. Se obtuvieron los parámetros de dureza, fuerza adhesiva, trabajo adhesivo, trabajo cohesivo, estiramiento, adhesividad y resistencia inicial a la penetración. De ambas pruebas se eligió la prueba de penetración y retirada ya que fue la que presentó mayores diferencias en los valores de los parámetros texturales entre los distintos tipos de cada producto. Posteriormente, se variaron las condiciones de prueba utilizadas cambiando los materiales (acero inoxidable, acrílico y aluminio) de los dispositivos; su forma geométrica (cono y cilindro) y las velocidades de penetración (0.5 mm/s, 2 mm/s y 5 mm/s). Todas las pruebas se efectuaron utilizando un texturómetro Texture Analyser TAX T2i. El contenido de lípidos y/o azúcares afectó significativamente las características de los alimentos estudiados pues hubo diferencias significativas entre cada tipo de cada alimento. Se observó que el uso de un material específico en el dispositivo de prueba depende mucho del alimento que se éste utilizando debido a que dependiendo de su composición química reaccionará de diferente manera con el material en estudio. Se encontró que alimentos altamente lipídicos se adherían mejor al acero inoxidable que al aluminio o al acrílico y alimentos con gran contenido de azúcares se fijaban mejor al acrílico.

La geometría que proporcionó una mejor diferenciación entre los parámetros estudiados fue el cilindro de 1in debido a que presentaba una mayor área de contacto con la muestra, y finalmente el cambio en las velocidades no presenta grandes diferencias significativas en la detección de los parámetros texturales. Por lo anterior, las condiciones de prueba que permitieron una adecuada diferenciación de las propiedades texturales de cada producto fueron: La geometría de cilindro, utilizando la velocidad que más convenga al operador y el material del dispositivo dependerá del alimento a evaluar.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de perfil de textura.....	8
Figura 2: Representación para la distinción entre el modo en como ocurre la falla adhesiva y la falla cohesiva.....	9
Figura 3: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de adhesividad por penetración y retirada.....	10
Figura 4: Representación de la curva fuerza vs tiempo para la prueba de adhesividad por contacto.....	11
Figura 5: Ejemplo del ángulo de contacto de un líquido.....	17
Figura 6: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de adhesividad por penetración y retirada.....	28
Figura 7: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de adhesividad por contacto.....	30
Figura 8: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración.....	32
Figura 9: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración.....	34
Figura 10: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración.....	35
Figura 11: Gráfico comparativo entre las mayonesas por pruebas de contacto.....	37
Figura 12: Gráfico comparativo entre las cajetas por pruebas de contacto.....	38
Figura 13: Gráfico comparativo entre las cremas de cacahuete por pruebas de contacto.....	38
Figura 14: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa regular.....	39
Figura 15: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa baja en lípidos.....	40
Figura 16: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa de marca económica.....	41
Figura 17: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.....	42
Figura 18: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	43

Figura 19: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1 in.....	44
Figura 20: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta regular.....	45
Figura 21: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta baja en azúcares.....	46
Figura 22: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta de marca económica.....	47
Figura 23: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1 in.....	48
Figura 24: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	49
Figura 25: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1 in.....	49
Figura 26: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete regular.....	50
Figura 27: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete baja en azúcares.....	52
Figura 28: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete de marca económica.....	53
Figura 29: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1 in.....	54
Figura 30: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	54
Figura 31: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1 in.....	55
Figura 32: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa regular.....	56
Figura 33: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa baja en lípidos.....	56
Figura 34: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa económica.....	58

Figura 35: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta regular.....	58
Figura 36: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta baja en azúcares.....	59
Figura 37: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta de marca económica.....	60
Figura 38: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la crema de cacahuete regular.....	60
Figura 39: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la crema de cacahuete baja en azúcares.....	61
Figura 40: Gráfico comparativo entre las geometrías del mismo material para la crema de cacahuete de marca económica.....	61
Figura 41: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa regular.....	63
Figura 42: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa baja en lípidos...	64
Figura 43: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa de marca económica.....	66
Figura 44: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta regular.....	66
Figura 45: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta baja en azúcares.....	67
Figura 46: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta de marca económica.....	67
Figura 47: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete regular.....	69
Figura 48: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete baja en azúcares.....	69
Figura 49: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete de marca económica.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores causantes de la adhesividad y su relativa contribución.....	15
Tabla 2: Porcentajes de contenido de lípidos y carbohidratos de cada producto.....	26
Tabla 3: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas.....	33
Tabla 4: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas.....	34
Tabla 5: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuates.....	36
Tabla 6: Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de mayonesas.....	36
Tabla 7: Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de cajetas.....	37
Tabla 8: Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de cremas de cacahuete.....	38
Tabla 9: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa regular.....	40
Tabla 10: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos.....	40
Tabla 11: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa de marca económica.....	42
Tabla 12: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in...	43
Tabla 13: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	43
Tabla 14: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.....	44
Tabla 15: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta regular.....	45
Tabla 16: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcares.....	46
Tabla 17: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta de marca económica.....	48
Tabla 18: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.....	48

Tabla 19: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	49
Tabla 20: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.....	50
Tabla 21: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuete regular.....	51
Tabla 22: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja en azúcares.....	51
Tabla 23: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuete de marca económica.....	52
Tabla 24: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable.....	54
Tabla 25: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de aluminio.....	55
Tabla 26: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.....	55
Tabla 27: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa regular.....	57
Tabla 28: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos.....	57
Tabla 29: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa económica.....	57
Tabla 30: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta regular.....	58
Tabla 31: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcar.....	59
Tabla 32: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta económica.....	59
Tabla 33: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete regular.....	60
Tabla 34: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja en azúcar.....	61
Tabla 35: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja económica.....	62
Tabla 36: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa regular usando un cilindro de acrílico de 1in...	63

Tabla 37: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos usando un cilindro de acrílico de 1in.....	64
Tabla 38: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa económica usando un cilindro de acrílico de 1in.....	64
Tabla 39: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta regular usando un cilindro de acrílico de 1in.....	65
Tabla 40: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcar usando un cilindro de acrílico de 1in.....	65
Tabla 41: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta económica usando un cilindro de acrílico de 1in....	66
Tabla 42: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete regular usando un cilindro de acrílico de 1in.....	68
Tabla 43: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja en azúcar usando un cilindro de acrílico de 1in.....	68
Tabla 44: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete económica usando un cilindro de acrílico de 1in.....	69

INTRODUCCIÓN

Un alimento semisólido es aquel que en apariencia es sólido pero presenta cierto grado de fluidez, por ejemplo, las emulsiones con alto contenido de lípidos. Éstas son hechas a base, principalmente, de proteínas o emulsificantes de bajo peso molecular que forman una capa alrededor de las gotas de lípidos (Arbolea y col., 2009), por lo que son sistemas coloidales polidispersos que constituyen una mezcla heterogénea de líquidos no miscibles. El comportamiento de las emulsiones lípido-agua en los alimentos se encuentra definido por tres partes del sistema: los lípidos que se encuentran en pequeñas gotas dentro de la emulsión, el emulsificante que se encuentra en la interfase aceite-agua y la fase continua, que es el agua (Dalglish, 2006). Es importante comprender las propiedades funcionales de una emulsión para entender la forma en que los lípidos contribuyen en su estructura original y como los sustitutos de grasa reproducen estas funciones (Arbolea y col., 2009). La formación, estabilidad y textura de los alimentos dependen de la funcionalidad de los ingredientes, su concentración e interacciones (Allen y col., 2006). Los lípidos proveen una variedad de características texturales tales como cremosidad, suavidad y adhesividad (Drewnowski y Schwartz, 1990). Así mismo, otro de los ingredientes que afecta de forma significativa las propiedades texturales de los alimentos es la presencia de azúcar, ya que un cambio en su concentración no sólo genera una alteración en la percepción del dulzor, sino también la manera en que interactúa con los demás ingredientes del sistema y su distribución en el mismo, genera una variación en la apreciación sensorial de la textura del alimento (Holm, y col., 2009). Las propiedades texturales son importantes pues es por ellas que el alimento es del agrado o desagrado del consumidor. Algunos productos se caracterizan por su dureza y fragilidad, como las galletas; o por su gomosidad, algunos caramelos; por su masticosidad como la carne, de la misma forma existen alimentos tales como mayonesas, dulces de leche, jarabes, entre otros, cuyas propiedades adhesivas son las más importantes.

La adhesividad es comúnmente vista como un atributo negativo, pero en ciertos alimentos algún nivel de esta propiedad es no sólo tolerable sino deseable (Kilcast y Roberts, 1997). Esta propiedad se define como el trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y otros materiales con los cuales entra en contacto (lengua, dientes, paladar, etc.) (Szczeniak, 1963), de manera que está relacionada con las propiedades de superficie. La adhesividad de los productos se puede manifestar de distintas maneras, como cuando se quedan pegados a los equipos, a los empaques o las diferentes partes de la boca. Los

alimentos percibidos como pegajosos por los consumidores tienen combinaciones de las siguientes características: bajo contenido de humedad, alto contenido de sólidos solubles y/o lípidos, se derriten con la temperatura del cuerpo y presentan alta adhesión a las superficies del cuerpo. Por otro lado, se ha encontrado que la energía de superficie y la humedad de la superficie, además del comportamiento reológico (viscoelasticidad) del material tienen influencia sobre las propiedades adhesivas (Kilcast y Robets, 1997). En casi todos los sistemas alimenticios, la adhesividad es una combinación de la fuerza adhesiva y la fuerza cohesiva. Cuando la fuerza adhesiva es mayor a la fuerza cohesiva, el material se percibe como pegajoso (Hoseney y Smewing., 1999).

Varios métodos se han desarrollado para la caracterización y cuantificación de la adhesividad, incluyendo métodos mecánicos tales como las “pruebas de sondeo”, las cuales consisten en que un dispositivo entre en contacto con la muestra por un cierto tiempo y después son retirados, obteniendo los parámetros texturales por medio de un software; éstas pruebas se han empleado para medir la adhesividad en diversos productos como mayonesas, caramelos, mantequilla, alimentos fluidos. Caldwell (1959) definió adhesión como la fuerza que une cualquier alimento contra la superficie del diente y midió las fuerzas de tensión entre los dientes y los alimentos. Por otro lado Claassens (1959) encontró que en mantequilla la fuerza adhesiva era dependiente del tiempo de contacto, de la fuerza, la temperatura y del material con el cual se hacía contacto sobre el alimento. Las fuerzas más altas se obtuvieron con metales y vidrio, fuerzas intermedias se lograron con plásticos y las fuerzas más bajas con madera. La fuerza requerida para separar el dispositivo de la superficie depende de la energía de superficie del sistema ya que materiales con baja energía se adhieren con mayor facilidad a superficies con alta energía. Generalmente materiales inorgánicos tienen una energía de superficie alta, mientras que los polímeros presentan una más baja, por lo que dispositivos hechos de metal o vidrio darán lecturas más altas que aquellos hechos de plástico (Hoseney y Smewing, 1999; Kilcast, 1997). Dado lo anterior es importante recalcar que existe una gran variedad de productos semisólidos cuya principal característica es la adhesividad, por su alto contenido de lípidos y/o azúcar, o bien porque tienen ingredientes que emulan las características de éstos, por lo que el propósito del siguiente trabajo será la identificación del tipo y las condiciones de prueba que cuantifiquen con mayor sensibilidad los cambios en estas propiedades para diferenciar su calidad textural, entre diferentes tipos de un producto.

CAPÍTULO I

1. Antecedentes

1.1. Alimentos semisólidos

1.1.1. Definición

Un alimento semisólido es aquel que en apariencia es sólido pero presenta cierto grado de fluidez, por ejemplo, las emulsiones con alto contenido de lípidos y productos con cantidades grandes de sólidos solubles como los azúcares.

1.1.2. Emulsiones con alto contenido en grasa

Algunos productos como margarinas, mayonesas y aderezos tienen en común que usualmente contienen tanto agua como grasa (o aceite). Puesto que la grasa y el agua son mutuamente insolubles, los productos contienen dos fases distintas. Las fases son inmiscibles a escala molecular pero se pueden mezclar a gran escala; digamos con tamaño de partícula por encima de 10 μm . A esa mezcla se le denomina una emulsión. Se utilizan los términos emulsión o/w si los componentes de la fase de aceite se dispersan en una fase acuosa continua y emulsión w/o si los componentes acuosos se dispersan en la fase de grasa. La mayonesa y los aderezos son ejemplos de emulsiones o/w, la margarina y el chocolate son ejemplos de emulsiones w/o.

Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables porque el contacto entre las moléculas de agua y aceite no es favorable y tienden a la separación de fases en un cierto tiempo (Dickinson, 1992; Walstra, 1996; Friberg, 1997; McClements, 1999)

La preparación de emulsiones que sean cinéticamente estables por un período prolongado (unos pocos días, semanas, meses o años) es de uso práctico para la industria de alimentos y requiere de la incorporación de sustancias conocidas como emulsificantes y/o agentes espesantes. Un emulsificante es una sustancia con superficie activa que se adsorbe a la superficie de las gotas de aceite o grasa para formar una capa protectora que previene que las gotas formen agregados con otras; como ejemplos de emulsificantes se pueden mencionar ciertas proteínas, polisacáridos, fosfolípidos, surfactantes de bajo peso molecular y partículas sólidas (Stauffer, 1999). Un emulsificante también reduce la tensión interfacial y por lo tanto facilita la distribución de las gotas dentro de la emulsión durante la homogenización, lo que ayuda a que la emulsión tenga gotas más pequeñas (Walstra y Smulders, 1998). Un agente

espesante es una sustancia que puede aumentar la viscosidad de la fase continua o bien formar una red de un gel dentro de la misma, produciendo un movimiento lento de las gotas de la fase dispersa hacia arriba, separándolas de la fase continua, debido a la diferencia de densidades por medio de la fuerza de gravedad y el movimiento Browniano de las moléculas, además de proveer al producto de los atributos texturales característicos (Imeson, 1997).

La mayonesa es una emulsión o/w, que típicamente contiene un 80% de aceite, sus propiedades, tales como: consistencia, adhesividad, untabilidad, dureza, entre otros, se determinan principalmente mediante la fase de glóbulos dispersados; estos productos derivan su consistencia del hecho de que los glóbulos de aceite forman una estructura que se distribuye dentro de la fase continua. El tamaño de los glóbulos usualmente está entre 1 y 5 μm . La polidispersidad del tamaño de las glóbulos determina la cantidad de aceite que se puede emulsionar, por lo tanto es importante controlar el proceso de emulsificación.

El tamaño de gota es muy importante para las propiedades mecánicas de la mayonesa. Si se desean mayonesas más consistentes se deberán considerar nuevas técnicas de homogenización para que el tamaño del glóbulo sea más pequeño; en una emulsión de mayonesa concentrada los glóbulos están densamente empaquetadas, pues la presencia de otras las deforma (De Brujine y Bot, 2001).

1.1.3. Alimentos con alto contenido en azúcar y lípidos

Un ejemplo de emulsión de w/o es la crema de cacahuete, la cual tiene un alto contenido no solo de lípidos sino también de carbohidratos (azúcares entre ellos).

Estudios realizados muestran que el sabor dulce es de gran preferencia para niños, adolescentes y adultos por lo que los alimentos dulces son de gran aceptación en el mercado (Drewnowski, 1987); así mismo, existen estudios relacionados con problemas de obesidad y nutrición que también incluyen este tipo de alimentos; sin embargo, se debe de notar que alimentos tales como: chocolates, helados, pasteles y otros postres son, en su mayoría semisólidos y que además del azúcar incluyen gran contenido de lípidos siendo éste el ingrediente mayoritario y fuente principal de calorías. Es más, el alto contenido de lípidos de algunos dulces puede ser ocultado de manera eficaz pues muchos de estos postres son referidos como alimentos ricos en carbohidratos a pesar de que su gran contenido calórico deriva de los lípidos (Drewnowski y Schwartz, 1990). Puede ser que la palatabilidad de este tipo de alimentos se deba principalmente a sus dos componentes calóricos principales: el azúcar y los lípidos (Watt y col, 1975; Drewnowski y col, 1987).

1.1.4. Funcionalidad de los lípidos y el azúcar en los alimentos

Los lípidos tienen un rol crucial en la determinación de la textura de muchos alimentos. Ellos imparten características importantes en las sensaciones que se perciben en la boca (Drewnowski, 1987) y, en alimentos de composición dura, determinan las propiedades de fractura (Marshall, 1990a). En alimentos líquidos los lípidos afectan la viscosidad, y esto puede estar directamente relacionado con las características sensoriales de modelos reológicos simples (Sherman, 1977; Kokini, 1987).

Los lípidos son un ingrediente importante en la dieta humana tanto por su contribución nutritiva como sabrosa. Los lípidos añaden el placer de la comida a otros componentes alimenticios: generalmente mejoran la sensación bucal, facilitan la masticación y añaden sabor al alimento. El efecto de la grasa en estos productos es difícil de cuantificar debido a que la experiencia que se puede obtener de las pruebas sensoriales es ampliamente subjetiva.

Por lo tanto, es de gran importancia una comprensión adecuada de las relaciones entre los efectos sensoriales de los lípidos y la estructura y reología de los productos que los contienen. La necesidad para la comprensión está incluso aumentando en la actualidad debido a que en el mundo occidental el valor nutritivo de los lípidos está siendo considerado más una carga que un beneficio.

El valor calórico de los lípidos es aproximadamente el doble que el de los otros componentes mayoritarios, proteínas e hidratos de carbono. La ingesta de lípidos tiene lugar a través de dos categorías de productos que se perciben por los consumidores como portadores de grasa; en la primera se encuentran margarinas, condimentos, aderezos de ensalada, aceites de cocina y grasas de las frituras, entre otros, a menudo referidos como alimentos con grasa “visible”. La segunda categoría consiste en productos que se piensa que no contienen grasa (carne, pollo, pescado), denominados como fuentes de grasa “invisible” (Drewnowski y Schwartz, 1990).

La tendencia mundial hacia la reducción de lípidos en alimentos ha significado un esfuerzo considerable; en la actualidad, se intenta producir versiones de grasa cero o bajo contenido de grasa, de los alimentos elaborados con lípidos, especialmente para productos que contienen “grasa visible”. Esto requiere tanto la imitación de las propiedades únicas de los lípidos utilizando análogos de grasa no digerible necesaria para el producto. Está claro que esto puede dar éxito solamente si está disponible el conocimiento detallado de la estructura y las propiedades sensoriales de los productos que contienen lípidos.

La presencia de lípidos ayuda a la percepción olfativa además de generar olores específicos en forma de moléculas liposolubles, que puede derivar en alimentos con una variedad de

características texturales tales como: cremosidad, suavidad, rugosidad, crujidez, adhesividad etc. (Wijk y col, 2003; Drewnowski y Schwartz, 1990). En alimentos semisólidos y sólidos, los lípidos tienen un rol más complejo en donde el mecanismo de fractura se ve afectado (Marshall, 1990a). Este efecto depende de las propiedades fisicoquímicas de los lípidos y el grado de interacción que tenga con los otros ingredientes (Marshall, 1990a).

Por otro lado, el azúcar es normalmente usado como un relleno químico, por ejemplo, agregado en grandes cantidades a los alimentos, contribuye al dulzor y a las propiedades texturales. Un cambio en el contenido de azúcar puede cambiar la percepción de ambos, el dulzor y la textura.

Una posibilidad para la optimización del dulzor percibido es la distribución de las moléculas que dan el sabor, de manera distinta dentro de la estructura y de este modo alterar los perfiles sensoriales (Holm y col, 2009).

Debido a lo anterior el contenido de lípidos y azúcares dentro de los alimentos es muy importante, ya que se ha visto que una reducción de ellos en determinado caso resulta en texturas anormales e inaceptables (Marshall, 1990b).

Solo en algunos semisólidos como helados, quesos o patés, la cantidad de lípidos y/o azúcares puede ser disminuida y mantener texturas aceptables, pero aún así estos alimentos tienen que ser reformulados y se les tienen que agregar estabilizantes (Haumann, 1986). Además, el tipo de lípido presente en un alimento es muy importante debido a que afecta las propiedades reológicas, texturales y sensoriales del mismo. En un estudio realizado en quesos por Marshall (1990a) se encontró que aquellos elaborados con lípidos líquidos o casi líquidos (aceite de girasol o aceite de mantequilla) presentaban un mayor daño durante la compresión ya que los lípidos exudaban del alimento, mientras que los lípidos sólidos (Coberine y Hycoa 5, marcas comerciales de aceites) presentaron muy pocos signos de daño teniendo una mayor estabilidad en el queso.

1.2. Propiedades texturales

1.2.1. Definición

Una definición de textura es “la manera en que los componentes estructurales de un determinado alimento están arreglados en una micro y macro estructura y las manifestaciones externas de esta estructura” (deMan y col, 1990). La definición anterior se ha creado tratando de combinar todos los términos que se engloban en el vocablo textura que han tratado de describir diversos autores con anterioridad. En todas ellas, junto con la que aquí se presenta, se

trata de englobar dos elementos importantes de la textura: la estructura física del material (que es la geometría) y la manera en que el material se maneja y se siente en la boca (que son las propiedades mecánicas y de superficie) (Szczesniak, 1963).

Szczesniak en 1963 publicó que las características texturales podían ser agrupadas en tres grupos principales:

1. Características mecánicas
2. Características geométricas
3. Otras características (refiriéndose principalmente a la humedad y al contenido de lípidos en los alimentos).

Las características mecánicas se miden organolépticamente por la presión ejercida entre los dientes, la lengua y las paredes de la boca durante la masticación. Las características geométricas se refieren al arreglo que tienen los constituyentes del alimento y que se ven reflejadas principalmente en la apariencia del producto. En su mayoría, se observan de manera visual. Estas características son usualmente suficientemente pronunciadas para producir una sensación oral a través de los sentidos del tacto y la presión. En la categoría de “otras características” se incluyen los factores de sensación en la boca que no pueden ser fácilmente resueltos con base en las propiedades mecánicas y geométricas.

Dentro de las características geométricas no se pueden apreciar con claridad grandes divisiones pero se tienen dos grupos de cualidades generales: a) aquellos relacionados con el tamaño y la forma de las partículas, y b) aquellos relacionados con la forma y la orientación. Mientras que algunas características geométricas se refieren a productos alimenticios homogéneos, varias son aplicables a sistemas que contienen más de una fase.

Por otro lado, el grupo de “otras características” comprende cualidades de sensaciones bucales relacionadas con la percepción de la humedad y el contenido de lípidos del alimento y se clasifican como:

- a) Contenido de humedad
- b) Contenido de lípidos (aceitosidad o untuosidad)

Estas cualidades deben ser también consideradas debido a que afectan las propiedades lubricantes de un producto. Los términos populares para describir el contenido de humedad de un alimento no sólo reflejan la cantidad total de humedad que se percibe, sino también el grado y la forma de la liberación. Los surfactantes, por lo general, son efectivos, como agentes humectantes, pero la elección del surfactante depende del tipo de humedecimiento y el tipo de alimento. Por ejemplo, para humedecer una superficie cérea, la adición de pequeñas cantidades

de una mezcla de surfactantes (polisorbato 80 y oleato de monoglicerilo y diglycerilo) a la solución acuosa puede producir el efecto deseado. Así mismo los monoglicéridos y diglicéridos poseen cualidades lubricantes excepcionalmente buenas muy útiles en el procesamiento de alimentos. La inclusión de 0.5 a 1.0% de un monoglicérido y un diglicérido fuerte, en caramelos, puede reducir la tendencia a pegarse a los cuchillos, envolturas y a los dientes de los consumidores (Lynch y Griffin, 1974).

Junto con el contenido de lípidos, la cantidad total de lípidos y su punto de fusión, en relación a las propiedades de recubrimiento en la boca, se vuelven importantes.

El parámetro de aceitosidad se refiere a la intensidad con la que se siente el aceite o la grasa dentro de la boca, que puede ser relacionado con la tensión superficial y los cambios en la viscosidad de un producto afectado por los movimientos de la lengua. Por otro lado, el parámetro de untuosidad refleja la solidez y dificultad para remover un recubrimiento de película grasoso de las paredes de la boca, ambos, a su vez, están relacionados con el punto de fusión del componente lipídico.

Finalmente, las características mecánicas sean probablemente las más importantes en determinar la manera en cómo los alimentos se manejan y comportan dentro de la boca. Éstas pueden ser divididas dentro de los cinco parámetros básicos siguientes:

- a) Dureza, definida como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada.
- b) Cohesividad, definida como la fuerza de los enlaces internos que componen el cuerpo del producto.
- c) Viscosidad, definida como el grado de fluidez por unidad de fuerza.
- d) Elasticidad, definida como el grado en el cual un material se deforma y recupera su estado original cuando la fuerza que se le aplica para deformarlo cesa.
- e) Adhesividad, definida como el trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento está en contacto.

Las primeras cuatro características están relacionadas con las fuerzas de atracción que actúan entre las partículas del alimento y las que se oponen a la desintegración, mientras que la adhesividad esta relacionada con las propiedades de superficie.

Las propiedades texturales son importantes pues es por ellas que el alimento es del agrado o desagrado del consumidor.

1.2.1.1. Propiedades adhesivas

La adhesividad es comúnmente vista como un atributo negativo en los alimentos, pero en algunos casos, cierto nivel de adhesividad no sólo es tolerable sino deseable.

Jowitt en 1974 definió la adhesividad como “Propiedad textural que se manifiesta por la tendencia de un alimento a adherirse a las superficies con las que entra en contacto, especialmente el paladar, los dientes y la lengua durante la masticación”. También se define como la propiedad que permite a un adhesivo formar un puente con la superficie de otro material cuando se ponen en contacto bajo una presión débil. En esta definición se pueden reconocer algunas condiciones que pueden influenciar la adhesividad (fuerza de contacto y tiempo de contacto) (Kilcast y Roberts, 1997).

La adhesividad puede ser una característica tanto negativa como positiva dependiendo del tipo de alimento. Adhesividad tiene un mayor uso como un término negativo que como un término positivo, probablemente reflejando la dificultad en evitar altos niveles de esta propiedad en algunos alimentos comunes, por ejemplo la adhesión de los alimentos a los materiales del empaque, es generalmente considerado como indeseable (Lai, 1987)

La adhesividad en los alimentos se puede manifestar de distintas maneras; por ejemplo la adhesión a equipos de procesamiento, la cohesión de los polvos, adherencia al empaque en el que se encuentra el alimento, y finalmente cuando se pega a los dedos o a las diferentes partes de la boca. Las últimas tres formas de adhesividad pueden ser percibidas por los consumidores (Kilcast y Roberts, 1997). Desgraciadamente no existen modelos cuantitativos que describan de manera satisfactoria y general el mecanismo de adhesividad en los sistemas alimenticios, ya que los métodos instrumentales para la cuantificación de la adhesividad en alimentos han sido desarrollados para productos específicos. Algunos mecanismos de prueba para determinar el punto de adhesión, basados en el de Lazer y col. (1956) han sido desarrollados y adaptados por las industrias de secado (Downton y col., 1982; Wallack y King, 1988). Mediciones de fuerzas cohesivas y adhesivas basadas en la prueba de célula de corte de Jenike o dispositivos similares, han sido ampliamente utilizadas para caracterizar el grado de fluidez en polvos por las industrias de este ramo (Peleg, 1993; Pasley and Haloulos, 1994; Teunou y col., 1999). Las pruebas de sonda que han estado en la aplicación en adhesivos sensibles a la presión son adaptadas con éxito para medir la adhesividad de la masa de trigo (Chen y Hosene, 1995) y dulces (Kilcast y Roberts, 1997).

1.2.1.2. Métodos instrumentales de medición de las propiedades adhesivas

Las pruebas instrumentales de mayor relevancia para la medición de la adhesividad en alimentos son las pruebas de pelado (para materiales de envase) y los métodos relacionados con la fuerza de separación del paladar (pruebas de sonda).

Las pruebas de pelado, aunque se han llegado a utilizar en alimentos, son más comúnmente usadas para cintas adhesivas o cubiertas laminadas de envases plásticos, y consisten en poner la muestra sobre una base y con un dispositivo con forma de pinzas, retirar la cubierta laminada de la base y medir la fuerza que se requiere para despegarla tomándola como fuerza adhesiva.

Por otro lado también existen las pruebas de sonda, las cuales son más utilizadas en alimentos pues se basan en el principio de poner un dispositivo en contacto con un material adhesivo bajo una presión pequeña y un tiempo corto, retirando el dispositivo a una cierta velocidad para poder medir la fuerza de tensión del enlace formado, esto con el fin de simular la sensación de un humano cuando con el dedo toca una superficie pegajosa (Kilcast y Roberts, 1997; Adhikari y col, 2002). En la industria alimentaria se han utilizado para simular aspectos orales, no orales y de proceso de la adhesividad; se clasifican básicamente en tres tipos: Perfil de Textura, por contacto y por penetración, siendo las dos últimas variaciones dentro de la prueba de perfil de textura (TPA). Estas pruebas se realizan utilizando analizadores de textura.

Prueba de perfil de textura (TPA)

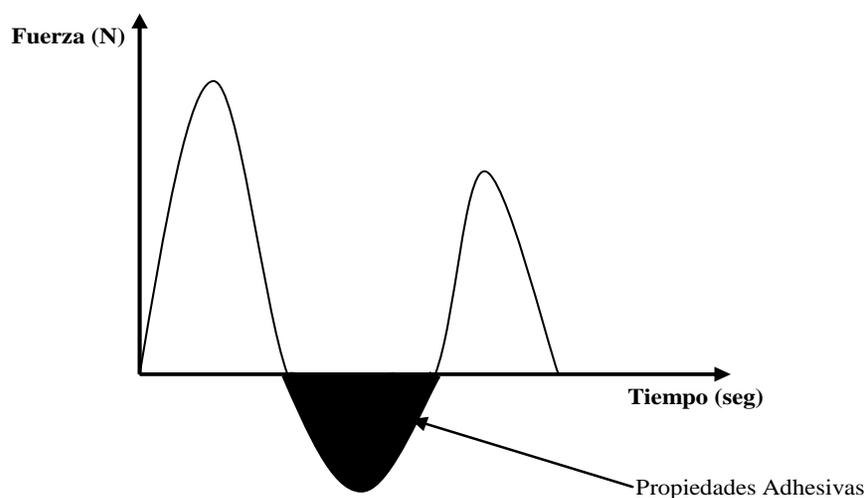


Figura 1: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de perfil de textura

En ella generalmente se utiliza un dispositivo de cara plana y durante la separación del dispositivo del material se registra un curva de fuerza vs tiempo (que consta de dos ciclos de

penetración y retirada), se mide el tiempo de separación y el área bajo la curva entre los dos ciclos de penetración pues a esta área es lo que se le conoce como el parámetro de adhesividad (Figura 1). En esta prueba las propiedades adhesivas no se manifiestan completamente ya que en la retirada después del primer ciclo, el dispositivo solamente regresa a la posición en donde inició (prácticamente en la superficie de la muestra en materiales semisólidos) y por lo tanto el material no se despegó completamente del dispositivo.

Para permitir que esto suceda, se ideó la prueba de penetración y retirada y la prueba de contacto y retirada, las cuales nos dan datos más precisos sobre las características adhesivas del producto que un perfil de textura.

Prueba de adhesividad por penetración y retirada

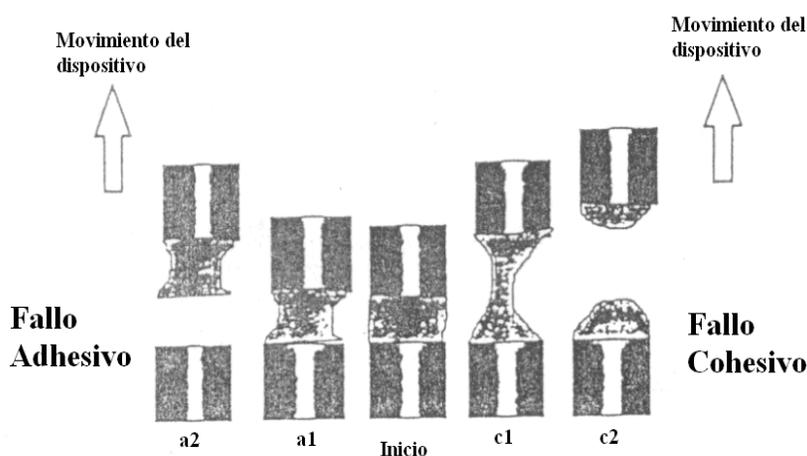


Figura 2: Representación para la distinción entre el modo en como ocurre la falla adhesiva y la falla cohesiva. Fuente Kilcast y Roberts, 1997.

Se utiliza una cantidad grande de muestra colocada en un recipiente (caja petri o vaso de precipitados), de manera que se minimice el efecto de la superficie de la base. El dispositivo penetra una cierta distancia la muestra y luego se retira a una velocidad alta, por arriba de la superficie de la muestra, una distancia suficiente para que la muestra se despegue completamente del dispositivo. La separación de la muestra de la superficie del dispositivo se conoce como fallo o falla y se puede dar de varias formas: En la Figura 2 se observan algunas formas en las que se produce el fallo; el modo cohesivo del fallo ocurre cuando el dispositivo entra en contacto con la muestra y al retirarse se produce un estiramiento de ella (c1), y se continúa hasta que parte de la muestra queda en ambas superficies (de la base y del dispositivo), c2; el caso contrario ocurre en el modo adhesivo del fallo, lo que sucede es que la muestra se queda completamente adherida sobre la superficie del dispositivo con el cual se

realizó la prueba aún cuando el dispositivo se ha alejado y ha dejado la superficie de la base completamente limpio de la muestra (a2). (Adhikari y col, 2002, Kilcast y Roberts, 1997). También se pueden dar casos de falla cohesivo-adhesivo, ésta es la etapa de transición entre la falla completamente adhesiva y completamente cohesiva y se puede subdividir en tres clases, la primera donde hay un dominio de la fuerza adhesiva sobre la cohesiva, la segunda cuando las fuerzas cohesivas y adhesivas son equivalentes, y en la tercera existe un dominio de la fuerza cohesiva sobre la adhesiva (Adhikari y col., 2002).

En la curva de fuerza vs tiempo solo existe un ciclo de penetración y retirada (Figura 3) en el cual, además de obtener los parámetros que se obtienen con el perfil de textura, también podemos obtener el parámetro de estiramiento y la relación del cociente de éste con la fuerza adhesiva nos da el parámetro de untabilidad, esto se logra cuando el dispositivo es retirado de la muestra hasta que se logra romper el hilo que se forma entre ella y el dispositivo de contacto, mientras que esto no se puede obtener con una prueba de TPA pues la retirada se realiza hasta la altura de la muestra.

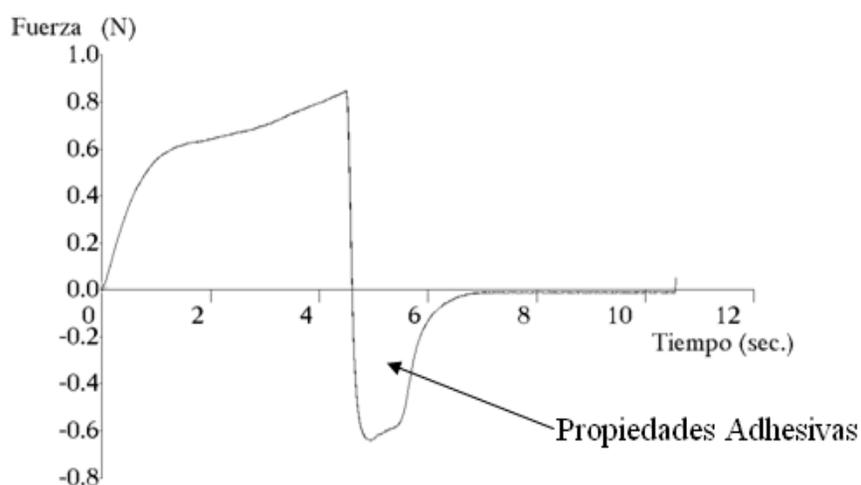


Figura 3: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de adhesividad por penetración y retirada

Prueba de adhesividad por contacto y retirada

Sobre la base del instrumento, se coloca una pequeña cantidad de muestra (tal que al comprimir no sobresalga del área del dispositivo). El dispositivo se pone en contacto con la muestra con una fuerza establecida. El contacto dura unos segundos y después el dispositivo se retira por arriba de la superficie de la muestra hasta que ésta se despegue completamente, de esta manera se obtiene también una curva de fuerza vs tiempo (Figura 4) y se obtienen los parámetros texturales, aunque en un número menor que con la prueba de penetración y

retirada. En este caso, al emplear una pequeña cantidad de muestra, el efecto de la base es más importante que en la prueba de adhesividad por penetración y retirada.

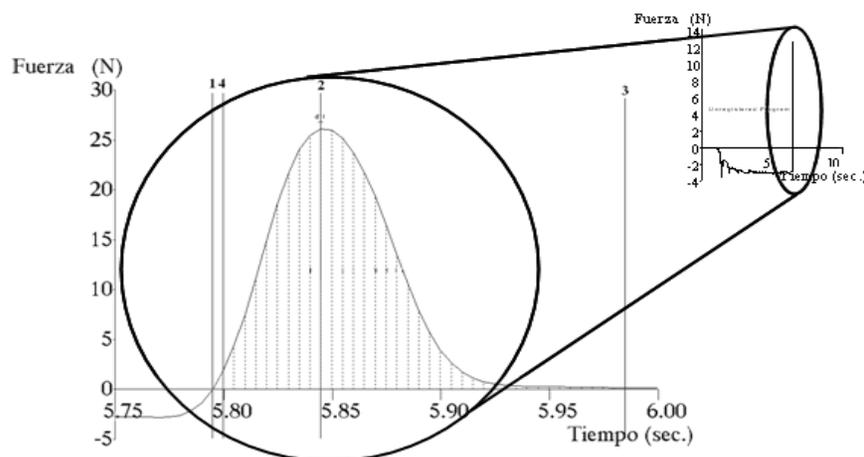


Figura 4: Representación de la curva fuerza vs tiempo para la prueba de adhesividad por contacto

Boyd y Sherman en 1975, en un estudio de adhesividad de alimentos semisólidos usando una prueba por sondeo, encontraron que la mayoría de los alimentos desarrollaron grandes fuerzas a grandes velocidades de separación. La crema de caramelo y la crema de queso mostraron una predominancia del fallo adhesivo, mientras otros alimentos (extracto de malta, cuajada de limón, mantequilla de cacahuete, miel y chocolate unttable) presentaron mayor fallo cohesivo a todas las velocidades.

Los factores que afectan la medición de la adhesividad son:

- La geometría de la muestra a la cual se le va a hacer la prueba pues es difícil encontrar una geometría que sea constante, es decir de superficie regular en todos sus ángulos, sobre todo en materiales casi sólidos, además la cantidad de muestra también afectará los resultados que se obtengan.
- Las dimensiones y forma de la sonda, debido a que el área de contacto es importante en el momento en que el dispositivo entra en contacto con la muestra para sensar las fuerzas que determinarán la curva fuerza vs tiempo y por lo tanto los parámetros texturales.
- El material de la sonda, ya que dependiendo de la energía superficial de éste, el alimento se adherirá mejor. Generalmente materiales inorgánicos tienen altas energías de superficie, mientras que materiales orgánicos y polímeros tienen energías de superficie bajas.

- La distancia de penetración de la muestra permitirá que mayor cantidad de ésta última se adhiera a un área más grande de la sonda, provocando que se necesite más fuerza para romper el puente formado entre ellos generando valores más altos de adhesividad.
- El tiempo y la fuerza de contacto, debido a que a mayor tiempo y fuerza se incrementa la energía que posteriormente se requerirá para separar el dispositivo de la muestra.
- La velocidad de retirada, ya que la fuerza necesaria para retirar la sonda es proporcional a la velocidad a la que se retira (Adhikari y col., 2001).
- El control de la temperatura es muy importante pues es bien sabido que ésta afecta las características de los alimentos de formas variadas, como puede ser el comportamiento reológico y viscoelástico de la muestra, ya que se conoce que algunos alimentos se comportan más como un fluido que como un sólido a altas temperaturas y viceversa, afectando también las uniones internas del material y por lo tanto su energía de superficie. produciendo alteraciones en los posibles resultados que se puedan obtener. En la mayoría de los alimentos, un cambio en la temperatura produce cambios significativos en su estructura.

Algunos factores externos que pudieran presentarse serían:

- El posible secado de la superficie de la muestra a evaluar, pues la humedad trata de alcanzar un equilibrio entre la muestra y el ambiente en el que se encuentra, afectando de igual manera la energía de superficie del material en estudio y cuando éste entra en contacto con otra superficie no interacciona de la misma manera que cuando la muestra está fresca.
- El no poder hacer réplicas sobre una misma muestra y es muy difícil la repetibilidad de los resultados.

Claassens en 1959 encontró que la fuerza de unión era dependiente además del tiempo de contacto, la carga, y la temperatura tanto de la muestra como del dispositivo con que entra en contacto.

Este tipo de pruebas se han utilizado para caracterizar la adhesividad de adhesivos sensibles a la presión (Ondarcuhu, 1997; Zosel, 1985), masas (Chen y Hosenev, 1995) y en productos de confitería (Kilcast y Roberts, 1997).

1.2.1.3. Factores que influyen sobre las propiedades adhesivas

Alimentos percibidos por los consumidores como pegajosos deben de poseer combinaciones de las siguientes características: 1) bajo contenido de humedad, 2) alto contenido de sólidos

solubles, 3) derretirse con la temperatura corporal y 4) alta adhesión a las superficies del cuerpo.

En un estudio realizado por Caldwell en 1959 se estableció que factores tales como: el estado de la superficie del diente, la fuerza aplicada entre el alimento y los dientes y la importancia de la saliva eran de potencial importancia en determinar la adhesión.

Además de estos factores existen otros que en lugar de ser relativos a la prueba son más bien relacionados con el alimento en sí, como son: viscosidad, contenido de humedad del alimento, temperatura, ingredientes con los que está hecho el producto y tamaño de partícula.

Viscosidad

Muchos alimentos se encuentran en un estado amorfo o en un estado líquido sobreenfriado. La viscosidad de los sistemas alimenticios amorfos es tan alta (10^{12-14} Pa·s) que son capaces de soportar su peso en lugar de fluir por acción de la fuerza de gravedad. Cuando se incrementa la temperatura, el estado amorfo se acerca a uno viscoso, donde su viscosidad disminuye drásticamente cerca de 10^{6-8} Pa·s (Downton y col, 1982; Wallack y King, 1988) causando, de este modo, la adhesividad del producto. La reducción en la viscosidad mejora en gran medida la movilidad molecular del sistema, que está ligado a los problemas texturales como la adhesividad y la adhesión.

Contenido de humedad

La interacción del agua con los sólidos es la principal causa de adhesividad y apelmazamiento en alimentos de baja humedad. Propiedades como la viscosidad, tensión de superficie y buena solvatación (proceso de atracción y asociación de moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto) hacen del agua un catalizador adecuado para la adhesividad y la aglomeración de los alimentos y de los sistemas particulados. Además es parte de la atmósfera y cualquier incremento en la humedad relativa del aire está asociada con la posibilidad de un aumento en la cantidad de agua que está siendo adsorbida por la superficie o absorbida hacia el interior (Griffith, 1991).

El agua es un plastificante omnipresente (entiéndase por plastificante al término utilizado en inglés definido como el proceso de disminución de la temperatura de transición vítrea, que es la temperatura a la cual se lleva a cabo el cambio de la fase “gomosa” o “rubbery”, término utilizado en inglés, a la fase “cristalina”)(Adhikari y col., 2001) para materiales de baja humedad y materiales biológicos (Slade y Levine, 1991). El incremento en el contenido de agua resulta en una fuerte disminución en la temperatura de transición vítrea (T_g). La T_g de algunos materiales alimenticios tales como azúcares, almidones, gluten, gelatina,

hemicelulosa, y elastina desciende rápidamente cerca de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ o también cuando el contenido de humedad se incrementa en un 30% en masa (Atkins, 1987). La plastificación de polvos alimenticios amorfos y la subsecuente disminución de su temperatura de transición vítrea por debajo de las temperaturas ambiente está relacionada con el comportamiento textural no deseado como puede ser el apelmazamiento y la adhesividad de los polvos alimenticios incluyendo alimentos ricos en azúcares (Slade y Levine, 1991).

Temperatura

La viscosidad de los sistemas alimenticios es función de la temperatura. Si la temperatura de alimentos amorfos es mayor que la temperatura de transición vítrea (T_g), serán transformados a un estado similar a líquido viscoso que está asociado con la adhesividad y el apelmazamiento (Roos y Karel, 1993). Roos y Karel (1993) reportaron que la viscosidad a la que se inicia o dispara la adhesividad (Downton y col, 1982) es equivalente a la viscosidad de azúcares amorfos a valores de $T-T_g$ entre 10 a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, que significa que el punto de temperatura adhesiva es de 10 a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ mayor que la temperatura de transición vítrea. Esto implica que si la temperatura del producto es menor que la temperatura de transición vítrea, fenómenos como la adhesividad y la adhesión no tienen lugar. También se hizo hincapié en que para los productos de cualquier naturaleza amorfa, la magnitud de $T-T_g$ es un indicador fundamental de la adhesividad y la adhesión (Slade y Levine, 1991).

Ingredientes de los alimentos

Azúcares amorfos de bajos peso molecular tales como: frutosa, glucosa, sacarosa y lactosa tienen una muy alta higroscopicidad y solubilidad. Incluso si los azúcares se encuentran en forma cristalina a la temperatura ambiente, generalmente se hacen amorfos como efecto de las operaciones de reducción de tamaño (Kely y col. 1974). Los azúcares amorfos se encuentran en un estado de alta energía en comparación con su correspondiente forma cristalina y por lo tanto son metaestables (Adhikari y col., 2001). Ingredientes de alto peso molecular compatibles con agua tales como: carbohidratos y proteínas tienen una temperatura de transición vítrea (T_g) alta, porque T_g incrementa cuando se incrementa el peso molecular (Fox y Flory, 1950; Roos y Karel, 1991). Por lo tanto, la adición de ingredientes, como maltodextrinas de bajo peso molecular, se recomienda tanto en el secado (Bhandari y col., 1997) como en las prácticas de almacenamiento (Nisshin, 1981) para reducir al mínimo la adhesividad y la aglomeración, respectivamente.

En la tabla 1 se muestran algunos factores y como es que contribuyen en la adhesividad.

Tamaño de partícula

El tamaño de partícula tiene una profunda influencia sobre la cohesión (propiedad interna de un material y una medida de fuerza que mantiene dos partículas similares o superficies juntas) y adhesión (propiedad de la interfase y es una medida de fuerza de retención de partículas desiguales / superficies juntas) fuerza de un sistema de partículas (Adhikari y col., 2001).

Tabla 1: *Factores causantes de la adhesividad y su relativa contribución. Fuente Adhikari y col., 2001*

Factores	Contribución relativa de adhesividad
Proteínas	O
Polisacáridos	O
Lípidos	+
Azúcares de bajo peso molecular	++
Ácidos orgánicos	++
Agua/Humedad relativa	+++
Distribución de tamaño de partícula	+
Compresión/presión	++
Temperatura	+++
Viscosidad	+++

O, punto base (contribución insignificante); +, contribución alta; ++, contribución más alta; +++, la contribución más alta.

1.2.1.4. Mecanismos por los que se da la adhesividad

Atracción entre partículas

Los factores que caracterizan las partículas adhesivas o cohesivas pueden ser similares pero una alta cohesión no está, necesariamente, asociada con una alta adhesión o viceversa. El grado de comportamiento adhesivo o cohesivo depende de la naturaleza del alimento y de los factores externos como la humedad y el calor (Adhikari y col., 2001). De acuerdo con Rumpf (1962), los mecanismos de atracción entre partículas han sido divididos en 4 grandes grupos: fuerzas intermoleculares y electroestáticas, puentes líquidos, puentes sólidos y enclavamiento mecánico, siendo las últimas tres sólo para polvos.

En las fuerzas intermoleculares y electroestáticas la cohesión entre dos partículas y la adhesión entre dos superficies sin puentes materiales se atribuye principalmente a las fuerzas de Van Der Waals y a las fuerzas electroestáticas. Para partículas menores a 5 micrones, éstas fuerzas se hacen dominantes comparadas con el peso de las partículas y tienden a formar aglomerados sin la necesidad de puentes sólidos o líquidos (Walton y Mumford, 1999).

La adhesión electrostática ocurre donde las partículas poseen exceso de cargas opuestas. Esta situación también puede surgir cuando las partículas entran en contacto, atribuibles a los

diferentes valores de potencial. Eléctricamente, partículas no conductoras son capaces de transportar el exceso de cargas eléctricas (Schubert, 1987). Estos mecanismos se pueden extrapolar hacia lo que sucede macromolecularmente con las proteínas, carbohidratos y lípidos dependiendo de las cargas que tengan cada uno, cómo interactúan entre ellos dentro de un sistema dado y finalmente, cómo pueden interactuar cuando entran en contacto con un material ajeno al sistema, digamos el dispositivo de prueba al realizar una prueba de sondeo.

Humectación y energía de superficie

La adhesión de alimentos fluidos o semisólidos a superficies diferentes no es posible al menos que tengan una buena humectación o untabilidad al adherente (dispositivo, material de prueba o superficie con la que entra en contacto). Las energías de superficie y la humectación se ha encontrado que son de mayor importancia. Además se ha mostrado que las propiedades reológicas del adhesivo (el alimento o la muestra en estudio) pueden influenciar tanto en el tiempo de formación del enlace, como en las características de fallo (forma en que se separa la muestra del dispositivo al momento de retirarlo) del enlace una vez formado.

La energía de superficie, es una característica propia del líquido y se define como la energía necesaria para romper los enlaces intermoleculares dando lugar a una superficie, o bien, como el exceso de energía en la superficie, en comparación con el todo. La cantidad de energía de superficie de un líquido está directamente relacionada con el área de superficie del líquido. Formas geométricas de gran área superficial tienen altos niveles de energía superficial mientras que aquellas de pequeña área superficial contendrán bajos niveles de energía superficial. Es por eso que todos los líquidos, como todos los estados de la materia, tienden a adoptar formas geométricas de área superficial pequeña, como la esfera, pues ésta forma es la que presenta una menor energía de superficie porque tiene una menor área superficial para cualquier volumen. Otra forma de analizarlo sería mediante cómo actúan las fuerzas cohesivas de un líquido dentro de una esfera; las fuerzas cohesivas son las fuerzas de atracción que tienen las moléculas entre ellas dentro de un cuerpo dado. Cuando las moléculas se encuentran dentro del seno de un líquido las fuerzas cohesivas son iguales en todas direcciones, mientras que las moléculas localizadas en la superficie exterior del líquido son atraídas simultáneamente o jaladas a la región interior del líquido, se forma una esfera en un esfuerzo de balancear las fuerzas internas y externas que están actuando sobre la superficie de la gota. Ahora, cuando se considera una gota de algún fluido sobre la superficie de un sólido, la parte de abajo del líquido está en contacto con la superficie del sólido y el resto de la superficie del sólido se encuentra en contacto con alguno otro gas arriba (vapor del líquido o el aire), de

igual manera el resto del fluido se encuentra en contacto con ese otro mismo gas, por lo tanto hay tres interfaces descritas por una gota de fluido sobre la superficie del sólido: 1) interfase líquido-sólido, 2) interfase sólido-gas y 3) interfase líquido-gas (Figura 5).

Como existen áreas superficiales en las tres interfaces, también existen las tres energías superficiales y todas las áreas están interesadas en disminuir la energía de superficie. Como resultado las energías de superficie interfacial compiten unas con otras para disminuir su propio nivel de energía, no importando los niveles de energía superficial de las otras interfaces. La “guerra de las energías superficiales de las interfaces” causa cambios en la forma del líquido que reposa sobre la superficie del sólido hasta que se alcanza un equilibrio. En el equilibrio la gota toma una forma como de domo que describe un ángulo de contacto (θ_c), éste existe entre una línea imaginaria dibujada a través de la interfase líquido-sólido (γ_{SL}) y otra línea dibujada tangencialmente al líquido en las interfases líquido-sólido y líquido-gas (γ_{LG}) (Figura 5). El ángulo de contacto y la forma del fluido cambiarán hasta que el equilibrio sea alcanzado (Porex Corporation, 2010).

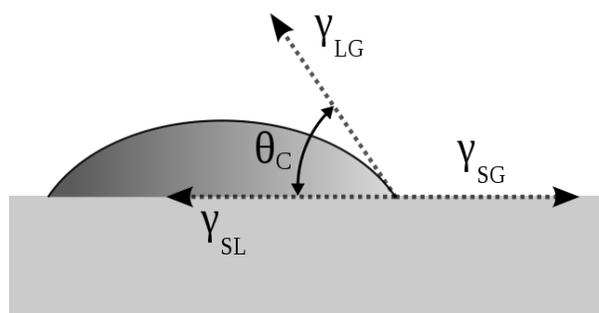


Figura 5: Ejemplo del ángulo de contacto de un líquido.

Para una adhesión óptima, el adhesivo debe humedecer la superficie a la cual va a ser unida. Humedecer significa que el adhesivo fluye y cubre una superficie para maximizar el área de contacto y las fuerzas de atracción entre el adhesivo y la superficie de unión (The adhesive and Sealant Council. Inc., 2010).

La humectación completa de la superficie ocurrirá cuando la energía de superficie del adherente es mayor que la del adhesivo (Saunders y col, 1992), es decir, que si en la interfase superficial líquido-sólido, las moléculas del líquido tienen una atracción mayor por las moléculas de la superficie del sólido que por sí mismas (las fuerzas adhesivas son más fuertes que las fuerzas cohesivas) la humectación ocurrirá. Esto ocurre porque materiales de baja energía se adsorben fuertemente a superficies de alta energía para disminuir la energía de

superficie del sistema. Por consecuencia, la adherencia se incrementa cuando hay un incremento en la energía de superficie del adherente.

En general materiales inorgánicos tienen altas energías de superficie, mientras que materiales orgánicos y polímeros tienen energías de superficie bajas.

El humedecimiento puede ser medido por el ángulo de contacto que forma una gota de líquido sobre una superficie dada, los líquidos humedecen la superficie cuando el ángulo de contacto es menor a 90° por lo que entre menor sea el ángulo de contacto mayor será la humectación (Brian Larson, 2010; The Adhesive and Sealant Council. Inc, 2010).

Una consecuencia de relevancia directa de la energía superficial, sobre las pruebas instrumentales de adhesividad, es que los resultados dependerán del material del dispositivo usado en la realización de la prueba. En el caso de las pruebas de sonda, las fuerzas máximas alcanzadas para retirar la sonda dependerán, por lo tanto, del material del dispositivo utilizado (Kilcast y Roberts, 1997; Hosene y Smewing, 1999). Las fuerza más altas se encontraron con metales (acero inoxidable, bronce y aluminio) y vidrio, las fuerzas intermedias se encontraron con plásticos y las bajas con madera (Claassens, 1959).

El tiempo que le toma a un líquido humedecer una superficie se incrementa cuando la viscosidad aumenta, y en el caso de las interacciones adhesivo/adherente, esto debe de influenciar la unión (Hammond, 1989). Además, se ha mostrado que entre mayor sea la fuerza con la que entra en contacto la sonda con la superficie de la muestra, mayor será la adhesión (Hosene y Smewing, 1999); así mismo la adhesión a diferentes superficies depende de la velocidad de retirada del dispositivo (Kambe y col, 1969). El efecto de la velocidad de retirada puede ser parcialmente atribuido a las características viscoelásticas del alimento y a las fuerzas cohesivas de las moléculas del mismo (Kilcast y Roberts, 1997).

La formación de un enlace pegajoso entre el adherente y adhesivo es un componente esencial de la adhesividad, pero el modo en que ocurre el fallo en la separación es también de gran importancia.

Comportamiento reológico

Heddeson y col. (1993, 1994) estudiaron masa de harina de trigo como un material adhesivo sensible a la presión y midieron la relación entre el comportamiento adhesivo de las masas, usando una prueba por sondeo y propiedades reológicas dinámicas y encontraron que la tangente de pérdida (G''/G') mayor, correspondía a un máximo en la energía de adhesión, sugiriendo que las características adhesivas son principalmente controladas por el mecanismo reológico. Por otro lado Wang y col. en 1996 encontraron fuertes correlaciones entre las

propiedades viscoelásticas de las masas medidas haciendo pruebas de compresión, relajación y tensión y sus propiedades adhesivas. Dahlquist (1959, 1989) estudió adhesivos sensibles a presión y concluyó que la adhesividad era un proceso controlado por el módulo elástico, cuando el adhesivo humedecía completamente el adherente (dispositivo o material de prueba) y los valores máximos de adhesividad ocurrían cuando el adhesivo tenía un módulo elástico bajo en el intervalo de tiempo límite y un valor de módulo elástico alto en el intervalo de tiempo para el despegado; también reportó un criterio reológico importante para la adhesión, el cual dice que ésta no ocurre cuando el módulo elástico, G' , es mayor a 10^6 dinas/cm². Subsecuentemente, este criterio fue encontrado como aplicable a todos los adhesivos sensibles bajo presión y puede ser que haya un criterio análogo para los alimentos viscoelásticos (Kilcast y Roberts, 1997). La relación entre adhesividad y viscosidad fue investigada por Brennan y Mohamed en 1984 usando jarabes azucarados newtonianos simples. Se encontró que las mediciones sensoriales de adhesividad estaban relacionadas tanto con la tensión de superficie como con la viscosidad de los jarabes.

Por otro lado, se ha establecido que el término de energía cohesiva es normalmente, el de mayor contribución en la medición de energía de fractura adhesiva y generalmente dependiente de las propiedades viscoelásticas del adhesivo, por lo tanto la adhesividad no es una propiedad constante del material sino que es dependiente, principalmente, de las propiedades viscoelásticas del adhesivo, y como tal, será dependiente de la velocidad impuesta, de la temperatura y de la deformación (Dobraszczyk, 1997).

Importancia de la transición vítrea en el mecanismo de adhesión

La temperatura de transición vítrea es una propiedad fundamental de los materiales amorfos. Cuando un material cristalino es sujeto a humedad y calor y subsecuentemente se acerca a la fase de transición, la viscosidad del sistema decrece dramáticamente desde 10^{12-14} Pa·s hasta 10^{6-8} Pa·s. La viscosidad disminuida es incapaz de soportar la microestructura cristalina dando paso a un colapso estructural para productos secos congelados y adhesividad a aquellos secados por aspersión (Wallack y King, 1988; Tsourouflis y col., 1976; Flink, 1983).

Recientemente la temperatura de transición vítrea (T_g), temperatura a la cual el cambio entre la fase “gomosa” y la fase “cristalina” toma lugar, ha sido reconocida como un parámetro fundamental para explicar y controlar la adhesividad para alimentos amorfos y semicristalinos particularmente en el caso de carbohidratos de bajo peso molecular (Roos y Karel, 1991; Bhandari y Howes, 1999).

En la literatura se han encontrado valores para la temperatura del punto de adhesión y la temperatura de transición vítrea para sacarosa de bajo contenido de humedad, donde la temperatura del punto de adhesión es casi de 4-11°C mayor a la temperatura de transición vítrea (T_g final). Por lo tanto, la temperatura de transición vítrea puede ser usada como un indicador confiable de adhesividad, tanto así que se han desarrollado métodos para la medición de la adhesividad utilizando a la temperatura de transición vítrea como parámetro de ésta (Adhikari y col., 2001).

Se han hecho estudios con polímeros donde se cambia la estructura del mismo a una fase isotrópica, lo que ocasiona cambios en las propiedades de superficie, lo que puede ser utilizado para manipular la adhesividad a voluntad. Por lo tanto el concepto de transición vítrea puede ser usado satisfactoriamente como un acercamiento para la caracterización de la adhesividad (Adhikari y col., 2001).

1.2.1.5. Trabajos de investigación realizados en productos semisólidos con propiedades adhesivas

Se han realizado diversos trabajos sobre las propiedades texturales y reológicas de distintos alimentos semisólidos como son margarinas, mayonesas, masas, chocolate, helados, cajetas y dulce de leche, éste último pudiendo aplicarse a lo que conocemos como cajeta en México.

En 1989 Muego y col. realizaron un estudio sobre las propiedades texturales de algunos productos hechos con cacahuete dentro de los cuales se encontraba la crema de cacahuete y la pasta de cacahuete. En ese trabajo realizó pruebas texturales por 3 diferentes métodos, el método A consistía en la utilización de un penetrómetro cuyo dispositivo era un cono con punta afilada. El método B consistía en una punta afilada puesta en la cabeza de una máquina de prueba universal Instron y el método C consistía en un perfil de textura modificado, donde sólo había un ciclo de penetración y retirada y el dispositivo era alejado por arriba de la superficie de la muestra, una distancia suficiente para que ésta se despegara completamente del dispositivo.

Las mediciones instrumentales mostraron que la pasta de cacahuete era la más dura y la que exhibía mayor fuerza adhesiva pero el menor tiempo en romper la columna de cacahuete y era la menos cohesiva. Se encontró que todos los métodos instrumentales eran aceptables pero el perfil de textura proveía mayor información que los otros dos métodos en describir la textura. También se hicieron pruebas sensoriales donde un panel entrenado calificó las cremas de

cacahuete en la pasta. Se encontraron correlaciones significativas entre varias de las mediciones instrumentales y las características sensoriales.

Navarro y col. en 1999 estudiaron las propiedades reológicas de 3 diferentes tipos de dulces de leche (común, bajo en calorías y para uso de confitería) usando viscosimetría rotacional y pruebas dinámicas de reometría oscilatoria. Todas las muestras mostraron una marcada dependencia del tiempo y no se recuperaba la estructura en un tiempo de 24 horas. Se encontró que el comportamiento de los 3 tipos de dulces de leche era intermedio entre una solución concentrada y un gel pero el de confitería era más cercano al comportamiento de un gel que los otros dos. Diferencias en el comportamiento reológico se asociaron a la diferente composición química y a la presencia o ausencia de agentes espesantes, los cuales también afectan la textura ocasionando la formación de geles más duros o suaves o más cohesivos.

En el estudio realizado por Kilcast y Roberts en 1997 donde trabajaron con caramelos con diferente punto de ebullición a diferentes temperaturas encontraron que el cambio del módulo elástico en el barrido de frecuencias era bajo a bajas temperaturas, pero alto a altas temperaturas; también encontraron varios puntos importantes, primero: que a bajas temperaturas, la energía de unión era baja, pero aumentaba cuando la temperatura lo hacía; segundo: a temperaturas intermedias, el caramelo exhibía un comportamiento característico de la adhesión, la falla era adhesiva y la energía de unión dependía en la naturaleza de la superficie de la muestra; y tercero: que a altas temperaturas, el caramelo se convertía en pegajoso abruptamente y ocurría una falla cohesiva. La energía de unión era alta pero caía cuando se aumentaba la temperatura.

Se ha estudiado el comportamiento reológico, textural y sensorial de las mayonesas al variar el contenido de lípidos en ellas y el tipo de aditivo que asemeje las características normales de éstas; se ha hallado que, reológicamente, este tipo de alimentos presenta un comportamiento tixotrópico y haciendo pruebas de cizalla oscilatoria se encuentran dentro de los geles débiles. En el estudio realizado por Liu en 2006, se pudo observar que la pectina de bajo metoxilo es aceptable para asemejar de manera más precisa las características texturales (firmeza, consistencia, cohesividad y viscosidad) y sensoriales (apariencia, color, sabor, aceptabilidad) de una mayonesa con contenido regular de lípidos.

También se han estudiado masas de trigo por diferentes autores, considerándolas como un material sensible a presión; se han desarrollado métodos para su estudio y se ha visto que las propiedades adhesivas están muy relacionadas con las propiedades viscoelásticas, para ello se

realizaron pruebas reológicas dinámicas además de pruebas de relajación y tensión (Heddleson y col., 1993, 1994; Wang y col., 1996; Hosney, 1999; Chen y Hosney, 1995).

Por otro lado, Adhikari y col. en el 2002 hicieron un estudio con jarabes ricos en azúcar durante el secado de los mismos (usando gotas de fructosa, miel, sacarosa, maltodextrina y mezclas de maltodextrina y sacarosa), usando una prueba de sonda que se realizaba *in situ*, se llevaron a cabo los historiales de humedad y de temperatura durante el secado; se hicieron las pruebas de sonda a 63 y 95 °C obteniéndose resultados de cómo es que cambiaba el fallo y la adhesividad en cada caso y a las diferentes temperaturas.

CAPÍTULO II

2. Metodología de investigación

2.1. Objetivos

General

Evaluar las propiedades adhesivas de diferentes alimentos semisólidos comerciales mediante la variación del tipo y las condiciones de prueba determinando aquellas que cuantifiquen de manera más confiable la calidad textural de cada producto.

Particular 1

Evaluar las propiedades adhesivas de diferentes tipos de alimentos semisólidos comerciales con alto contenido de grasa y/o azúcar mediante pruebas por contacto y por penetración, eligiendo aquella que permita una apropiada diferenciación de los grados de calidad textural en cada producto.

Particular 2

Evaluar las propiedades adhesivas de diferentes tipos de alimentos semisólidos comerciales con alto contenido de grasa y/o azúcar mediante la variación de las condiciones de prueba (velocidad, material del dispositivo y geometría del dispositivo) definiendo aquellas que permitan una adecuada diferenciación de los grados de calidad textural en cada producto.

2.2. Materiales

La materia prima que se utilizó para la realización del presente proyecto fue: crema de cacahuete, cajeta y mayonesa, todas de marca conocida y con el contenido habitual de lípidos y/o azúcar según fue el caso; también se hizo uso del mismo tipo de alimentos, misma marca, pero reducidos en grasa o azúcar de acuerdo al producto a evaluar, con excepción de la crema de cacahuete pues aunque era reducida en azúcar fue de diferente marca a la de contenido habitual, finalmente se manejaron los mismos tres tipos de alimentos pero de una marca económica, con el fin de detectar las diferencias en las propiedades adhesivas en cada uno de ellos.

Toda la materia prima se compró en un supermercado adquiriendo toda la que se requirió del mismo lote para cada producto a evaluar. Las muestras se almacenaron a 23 ± 2 °C.

2.2.1. Características de los productos:

Mayonesas

Marca: McCormick

Ingredientes: Aceite de soya, yema de huevo, agua, vinagre, azúcar, sal yodada, especias, jugo de limón y EDTA disódico.

Contenido neto: 790 g

Elaborado para McCormick de México S. A. de C. V.

Lote:U9243 I1

Marca: Mc Cormick Ligth

Ingredientes: Aceite de soya, yema de huevo, vinagre de alcohol, azúcar, sal yodada, especias, jugo de limón, agua, almidón de maíz, polidextrosa, ácido láctico y EDTA disódico.

Contenido neto: 850 g

Elaborado para McCormick de México S. A. de C. V.

Lote: U9143 L1

Marca: Mayonesa Aurrera

Ingredientes: Agua, aceite vegetal comestible, vinagre, azúcar, almidón modificado de maíz, sal, yema de huevo, polisorbato de sodio como emulsificante, jugo de limón en polvo, ácido láctico, sorbato de potasio como conservador, goma xantana, goma guar, harina de mostaza, sólidos de leche, extractos naturales, EDTA disódico y antioxidantes (BHA y BHT).

Contenido neto: 735 g

Elaborado para Nueva Wal-Mart de México, S. de R. L. de C.V.

Lote: 464294

Cajetas

Marca: Cajeta Coronado Vainilla

Ingredientes: Leche de cabra, azúcar, glucosa, bicarbonato de sodio, saborizante artificial y sorbato de potasio.

Contenido neto: 660g

Elaborado por Barcel S. A. de C. V.

Marca: Coronado baja en azúcar

Ingredientes: Leche de cabra, malitol, azúcar, sorbitol, saborizante artificial, bicarbonato de sodio y sorbato de potasio.

Contenido neto: 370 g

Lote: 28AJME01

Elaborado por Barcel S. A. de C. V.

Marca: Real de Potosi

Ingredientes: Leche de cabra, glucosa y extracto de vainilla

Contenido neto: 660 g

Elaborado por Fabrica Coronado S. A. de C. V.

Lote: L4554

Cremas de Cacahuete

Marca: Aladino dulce

Ingredientes: Cacahuates tostados, azúcar, aceite vegetal hidrogenado (aceite de canola, aceite de algodón, aceite de soya) y sal yodada.

Contenido neto: 340 g

Importado y Distribuido por: Alimentos Capullo S. de R. L. de C.V.

Lote: L911101TM

Marca: d'Meals. (Baja en azúcar)

Ingredientes: Cacahuete, grasa vegetal, 0.0014 benzoato de sodio y sucralosa.

Contenido neto: 250 g

Elaborado por Biorj S. A. de C. V.

Lote: 030110

Marca: JIF

Ingredientes: Crema de cacahuete.- cacahuates tostados, azúcar, contiene 2% o menos de melasa, aceite vegetal parcialmente hidrogenado (soya, aceites vegetales totalmente hidrogenados, mono y digliceridos y sal), miel y azúcar.

Contenido neto: 510 g

Elaborado por The J. M. Smucker Company.

Lote: 7249425

Tabla 2: Porcentajes de contenido de lípidos y carbohidratos de cada producto

Producto	% Lípidos*	% CHOS*	% Azúcares*
Mayonesa McCormick	81	2	-
Mayonesa McCormick Light	40	13.33	-
Mayonesa Aurrera	33.5	11.1	-
Cajeta Coronado	7.5	65	65
Cajeta Coronado Light	6.25	65	30
Cajeta Real de Potosí	7.5	69.44	66.66
Crema de Cacahuete Aladino	43.75	25	-
Crema de Cacahuete d'meals	45.40	17	0
Crema de Cacahuete JIF	44.11	32.35	-

-Información no disponible

*Información reportada en la etiqueta

Nota: por el contenido de lípidos se puede observar que aunque en la etiqueta de la mayonesa de marca económica (Aurrera), no se menciona que sea baja en lípidos, lo es pues el contenido de ellos es menor, incluso que la mayonesa denominada como Light durante esta experimentación.

Pruebas texturales

Instrumento: Se utilizó para ambas pruebas (penetración y contacto) el Texturómetro Texture Analyser modelo TAX-T2i Stable Microsystems (Inglaterra). Equipado con el software Texture Exceed utilizando una celda de carga de 5kg.

2.3. Prueba de adhesividad por penetración y retirada

Se utilizó como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in de diámetro; las muestras se colocaron en cajas petri de aproximadamente 4.8 cm de diámetro teniendo un volumen aproximado de 18 cm^3 , las cajas se rellenaron al ras cuidando de no dejar huecos y se dejaron reposar por unos minutos dentro de un recipiente rectangular con tapa, esto con la finalidad de que recuperara su estructura después del manejo y que la superficie de la muestra no se reseca. La prueba se realizó a una temperatura de $25 \text{ °C} \pm 1$. Se calibró el dispositivo a una distancia de 7 cm con relación a la base. Se penetró la muestra a 9 mm de distancia que es el 50% de la altura de las cajas Petri a una velocidad de 2 mm/s con una fuerza de contacto de 0.5 g y se retiró el dispositivo a una velocidad de 10 mm/s hasta la distancia del inicio de la prueba (7 cm). Durante la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función al tiempo de la cual se calcularon los parámetros texturales. Se realizaron un mínimo de 6 repeticiones para cada producto. Todas las condiciones de prueba fueron las mismas a excepción de la distancia

de retirada, la cual fue de 170 mm para las cajetas pues el hilo de unión no se rompía con una distancia menor.

En el caso del objetivo 2 se variaron la geometría (un cono de acero inoxidable cuyas dimensiones fueron: diámetro de 15.38 mm, altura 24.88 mm y con un ángulo de 60°; y un cilindro de acero inoxidable de 25.44 mm de diámetro y 39.89 mm), y los materiales de un cilindro (acero inoxidable, acrílico y aluminio) y la velocidad de penetración (0.5, 2.0 y 5.0 mm/s); pero solo se variaba una cosa a la vez, es decir, si cambiaba el material, la geometría era la misma para todos los dispositivos y además la velocidad de penetración junto con las otras condiciones se mantenían exactamente igual a las establecidas para el objetivo 1. Con excepción de cuando se varió la geometría, ya que ahí las condiciones cambiaron debido a que el cono necesitaba de una muestra de mayor volumen, para penetrar una mayor distancia y poder sentir correctamente la adhesividad del alimento. Para ello, las muestras se colocaron en vasos de precipitados de 100 ml llenándolos hasta la marca de los 30 ml (26 mm de altura) y se dejaron reposar por unos minutos dentro de un recipiente rectangular con tapa, con la finalidad de que el alimento recuperara su estructura después del manejo y la superficie de la muestra no se reseca. La prueba se realizó a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$. Se calibró el dispositivo a una distancia de 170 mm con respecto a la base. Se penetró la muestra 13mm (que es el 50% de la altura de la muestra) a una velocidad de 2 mm/s con una fuerza de contacto de 0.3 g (pues con una mayor fuerza de contacto, el dispositivo ya había penetrado la muestra una distancia considerable antes de empezar a sentir y formar la curva de fuerza-tiempo) y finalmente se retiró el dispositivo a una velocidad de 10mm/s hasta la distancia del inicio de la prueba. Igualmente se obtuvo una curva de fuerza en función al tiempo en el cual se calcularon los parámetros texturales y también se realizaron un mínimo de 6 repeticiones para cada producto.

2.3.1 Parámetros texturales para la prueba de penetración

Con referencia a la Figura 6 los parámetros texturales se miden de la siguiente forma:

- Dureza: Es la fuerza necesaria para alcanzar la penetración dada y se calcula como el pico máximo de la parte positiva de la curva fuerza-tiempo.
- Trabajo cohesivo (área de 6 a 7): Área bajo la curva después del pico máximo negativo. Se define como el trabajo para vencer la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Es el área negativa después de la fuerza adhesiva.

- Trabajo adhesivo (área de 5 a 6): Área bajo la curva del inicio de la retirada al pico máximo negativo. Es el área negativa antes de la fuerza adhesiva.
- Adhesividad (área de 5 a 7): Es el trabajo necesario para la separación de dos cuerpos en contacto, área bajo la curva desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza llega a cero o se hace constante y representa el trabajo necesario para que el dispositivo se despegue totalmente del alimento.
- Fuerza adhesiva: Representa la fuerza necesaria para la separación del dispositivo del alimento y se calcula como la fuerza máxima negativa.
- Trabajo de Penetración (área de 1 a 4): Trabajo aplicado para penetrar la distancia establecida. Se mide como el área positiva de la curva fuerza-tiempo hasta la punta antes de iniciar el proceso de bajada.
- Resistencia inicial a la penetración (Pendiente de 2 a 3): Primera pendiente del área positiva de la curva fuerza-tiempo.
- Estiramiento (distancia de 5 a 7): La distancia que el producto se extiende durante la retirada antes de romperse (Casas y Ramírez Ortiz, 2001).
- Untabilidad: Es el cociente entre el estiramiento y la fuerza adhesiva.

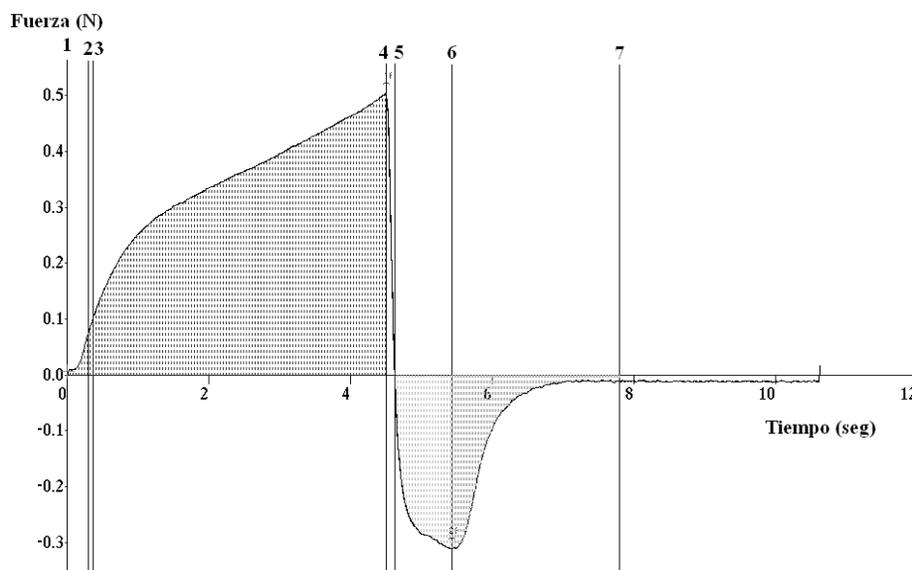


Figura 6: Representación de la curva fuerza vs tiempo de la prueba de adhesividad por penetración y retirada.

2.4. Prueba de adhesividad por contacto y retirada

Se realizó una prueba de adhesividad por contacto en el Texture Analyser TA-XT2i, utilizando una celda de carga de 5 kg y usando como dispositivo el cilindro de acrílico con 1 in de diámetro. Se calibró el dispositivo a una distancia de 7 cm para las mayonesas y las cremas de cacahuete, mientras que para las cajetas fue de 17 cm; se colocó sobre la base de prueba la cantidad que se tomaba llenando la cucharilla de una microespátula del material a estudiar, e inmediatamente se inició la prueba bajo las siguientes condiciones: Con el cilindro de acrílico se aplicó una fuerza de contacto de 300 g por 5 s. Se retiró el dispositivo a una velocidad de 10 mm/s hasta la distancia calibrada con anterioridad para cada material. Durante la prueba se obtuvo una curva de fuerza en función al tiempo, en el cual se calcularon los parámetros texturales. Cada prueba se realizó a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ y se hicieron un mínimo de 6 repeticiones por cada tipo de alimento a estudiar.

2.4.1 Parámetros texturales para la prueba de contacto y retirada

Los parámetros texturales obtenidos son casi los mismos a los determinados en la prueba de adhesividad de penetración y retirada, con algunas excepciones y se definen de manera distinta dentro de la curva fuerza-tiempo, pues en este caso, las propiedades adhesivas se evalúan en la zona positiva.

Con referencia en la Figura 7 los parámetros texturales se midieron de la siguiente forma:

- Resistencia adhesiva inicial (Pendiente de 1 a 4): Pendiente inicial de la curva durante la retirada del dispositivo.
- Fuerza adhesiva: Pico de fuerza máxima
- Trabajo adhesivo (área de 1 a 2): Área bajo la curva del inicio de la retirada al pico máximo.
- Trabajo cohesivo (área de 2 a 3): Área bajo la curva después del pico máximo.
- Estiramiento (distancia de 1 a 3): Distancia desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza cae a un valor constante o hasta cero.
- Adhesividad (área de 1 a 3): Área total bajo la curva fuerza-tiempo (Casas y Ramírez Ortíz, 2001).
- Untabilidad: Es el cociente entre el estiramiento y la fuerza adhesiva.

se encontró que había diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey para saber entre cuáles niveles de variación eran estas diferencias.

Los factores de variación a estudiar fueron elegidos con base en lo que se presenta en los antecedentes, pues se sabe que las propiedades adhesivas se ven influenciadas por las concentraciones de lípidos y/o azúcar, por lo que se buscó elegir un producto que tuviera alto contenido de lípidos, otro con alto contenido en azúcar y uno que tuviera ambos, tomando variedades de cada uno de ellos en donde probablemente se aprecie mejor un cambio en las propiedades en estudio. Los tipos de prueba se eligieron, pues se ha visto que son los más efectivos en la medición de las propiedades adhesivas y finalmente las condiciones de prueba que se variaron son las que se sabe pueden tener mayor influencia sobre este tipo de propiedades.

2.6. Cuadro resumen diseño experimental.

Obj. Part.	Factor de Variación	Niveles de Variación	No. rep.	Variable de Respuesta	Instrumento de medición
1	Tipo de Prueba	2	5	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de penetración • Dureza • Fza adhesiva • Adhesividad • Trabajo adhesivo • Trabajo Cohesivo • Resistencia Adhesiva inicial • Estiramiento 	
	Tipo de alimento	<ul style="list-style-type: none"> • Mayonesa • Cajeta • Crema de Cacahuete 3 variedades de cada producto			
2	Condiciones de prueba Prueba por contacto: <ul style="list-style-type: none"> • Material • Fuerza de contacto • Tiempo de contacto • Vol. de la muestra Prueba por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • Vel. de penetración • Geometría Material	Prueba por contacto <ul style="list-style-type: none"> • Material: 2 • Fza. de contacto: 2 • t de contacto: 2 Prueba por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • Vel. de penetración: 3 • Geometría: 2 Material: 2	5	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de penetración • Dureza • Fuerza adhesiva • Adhesividad • Trabajo adhesivo • Trabajo Cohesivo • Resistencia Adhesiva inicial • Estiramiento 	Texture Analyser TA-XT2i
	Tipo de alimento	<ul style="list-style-type: none"> • Mayonesa • Cajeta • Crema de Cacahuete 3 variedades de cada producto			

CAPÍTULO III

3. Resultados y discusión

A continuación se presentan las tablas y gráficas obtenidos durante la experimentación del objetivo uno con su respectivo análisis de resultados.

3.1. Objetivo 1

3.1.1. Prueba de penetración

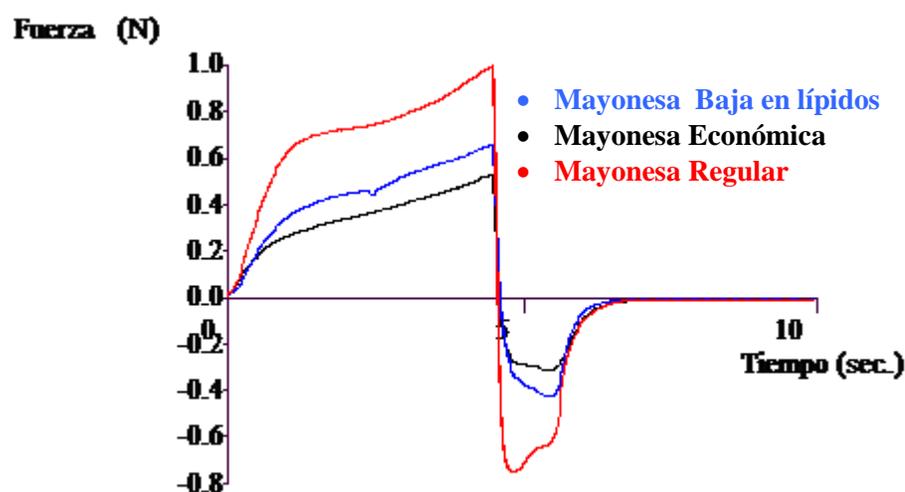


Figura 8: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración.

En la Figura 8 y la Tabla 3 se puede notar que sí existen diferencias significativas (ver Tabla 3) entre las mayonesas estudiadas en este proyecto; la mayonesa que resultó con mayores parámetros texturales fue la regular, y quien tuvo los valores más bajos fue la mayonesa de marca económica incluso por debajo de la reducida en lípidos, menos en lo que respecta al parámetro de untabilidad en el cual sucedió lo contrario, ya que la que tiene menor dureza y adhesividad es más untable; esto tal vez se deba a los ingredientes utilizados para la elaboración de la mayonesa, pues la reducida en lípidos es de la misma marca que la regular, sólo que el contenido de lípidos es menor, remplazándolo con un espesante como lo es el almidón de maíz, pero la calidad y cantidades de los demás ingredientes deben ser muy parecidos por lo que la formulación de las mayonesas influye mucho en su calidad textural. Se puede notar que las mayonesas que contienen ingredientes como almidones (marca económica

y reducida en grasa) son menos resistentes a la penetración, menos duras y menos adhesivas, lo que nos indica que los lípidos son los responsables de impartir las características adhesivas a este tipo de alimentos y que el empleo de almidones, povidonas y gomas reemplazan parcialmente los lípidos. También se puede notar que a diferencia de las otras dos mayonesas la regular presenta un predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo por lo que la falla que resulta es cohesivo-adhesiva, esto mismo hace que esta mayonesa sea menos untable que las demás pero eso no quiere decir no lo sea.

Tabla 3: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Económica	0.42 ^a	0.53 ^a	1.51 ^a	0.32 ^a	0.22 ^a	0.18 ^a	0.40 ^a	100.52 ^a	31.79 ^a
Baja en Lípidos	0.53 ^a	0.62 ^b	1.89 ^b	0.39 ^b	0.27 ^b	0.19 ^a	0.45 ^b	82.43 ^b	31.84 ^a
Regular	0.81 ^b	1.01 ^c	3.11 ^c	0.75 ^c	0.16 ^c	0.67 ^b	0.82 ^c	42.72 ^c	31.85 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Con lo que respecta a las cajetas, en la Figura 9 y la Tabla 4 se presentan los valores y las comparaciones obtenidos durante la prueba de penetración y retirada para este objetivo. En este caso lo que se puede observar es muy similar a lo ocurrido con las mayonesas, sí existió diferencia significativa (ver Tabla 4) entre las cajetas estudiadas en este proyecto, en casi todos los parámetros texturales a excepción de la dureza, el trabajo adhesivo y el estiramiento, donde en los dos primeros, la cajeta regular y la baja en azúcares presentaban valores similares y en el caso del estiramiento fueron las cajetas regular y la de marca económica las que presentaron valores muy cercanos entre sí. Aún cuando la reducida en azúcar presenta valores ligeramente más altos de resistencia y trabajo de penetración y dureza, en cuanto a propiedades adhesivas, la regular la supera, debido al mayor contenido de azúcares.

Tabla 4: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Baja en azúcares	0.13 ^a	0.67 ^a	1.46 ^a	0.79 ^a	0.08 ^a	1.51 ^a	1.59 ^a	132.38 ^a	104.40 ^b
Regular	0.08 ^b	0.63 ^a	1.25 ^b	1.33 ^b	0.06 ^a	1.67 ^b	1.73 ^b	78.63 ^b	104.50 ^a
Económica	0.04 ^c	0.28 ^b	0.60 ^c	0.46 ^c	0.02 ^b	0.80 ^c	0.82 ^c	225.48 ^c	104.47 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

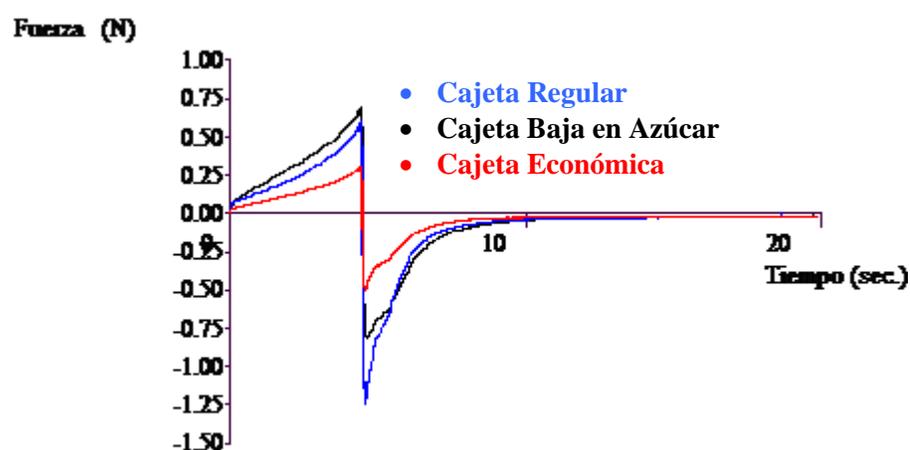


Figura 9: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración.

Los mayores valores para la resistencia inicial a la penetración, la dureza y el trabajo de penetración se encuentran en la cajeta baja en azúcares, mientras que los datos mayores de fuerza adhesiva, trabajo cohesivo, adhesividad y estiramiento los tiene la cajeta regular, esto probablemente se deba a que a la cajeta reducida en azúcares se le agregan ciertos aditivos como manitol y sorbitol que son edulcorantes que sirven para endulzar y almidones que sirven para que el producto conserve una textura viscosa, como una cajeta normal, por lo que se perciben más duras y al ser más duras requieren de un mayor trabajo de penetración y tienen una resistencia más grande, pero al tener un menor contenido de azúcares (los cuales imparten la adhesividad al producto), los parámetros como la adhesividad, trabajo cohesivo y fuerza adhesiva disminuyen siendo elevados en aquella con un contenido normal de azúcares para este tipo de productos. Para todas las cajetas se presenta un predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo por lo que presentan una falla cohesiva-adhesiva. Al presentar todos los valores

similares de estiramiento la fuerza adhesiva es la que nos determina que tan untables son nuestras cajetas siendo la más untable la de marca económica y la menos untable la regular.

En el caso de las cremas de cacahuete Figura 10 y Tabla 5, la marca económica mostró valores más altos en la mayoría de los parámetros texturales en comparación con las otras dos cremas utilizadas en ésta experimentación (con excepción del trabajo cohesivo y la untabilidad), siendo ésta la que tiene una diferencia significativa con respecto a las cremas de cacahuete regular y baja en azúcares, pues entre estas dos últimas no existe diferencia significativa. Esto probablemente se deba a la formulación de cada producto, pues para la crema de cacahuete de marca económica una posibilidad sería que se hubieran ocupado aceites vegetales cuya composición resultó en una crema de cacahuete de mayor dureza y fuerza adhesiva. En la crema de cacahuete de marca económica y la baja en azúcar existe un ligero predominio del trabajo adhesivo sobre el cohesivo (ver Tabla 5), mientras que para la regular es lo contrario, aunque realmente no es mucha la diferencia de los valores por lo que se puede decir que existe una falla adhesivo-cohesivo prácticamente equivalente, y estadísticamente en éstos dos parámetros no existe diferencia significativa (ver Tabla 5) entre los productos. En cuanto a la untabilidad la baja en azúcares es la más untable y la de marca libre la menos untable, lo que es de esperarse debido a la fuerza adhesiva obtenida.

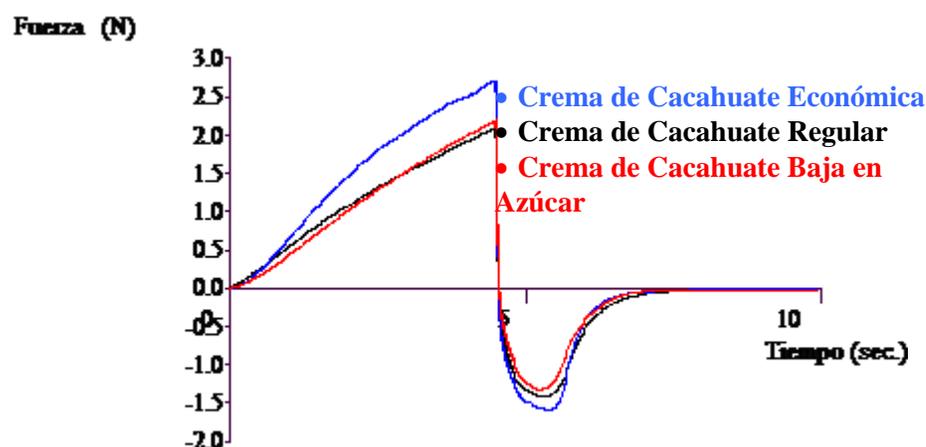


Figura 10: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración.

Algo interesante que se puede observar es que la crema de cacahuete baja en azúcares y la regular tienen parámetros texturales muy similares entre sí, aún y cuando la primera es reducida en azúcares. Esto probablemente se deba a que, sensorialmente, se percibía como si tuviera un exceso de lípidos o éstos no estuvieran bien emulsionados, pues se sentía grasosa en

la boca (apreciación personal), dejando un resabio desagradable; aún cuando se suponía que no contenía azúcares, por lo que una posibilidad es que hayan reemplazado el contenido de azúcares con un porcentaje mayor de lípidos para que tuviera una consistencia y características propios de los que deben tener este tipo de productos.

Tabla 5: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuates*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.58 ^a	2.04 ^a	4.80 ^a	1.36 ^a	0.80 ^a	1.05 ^a	1.84 ^a	32.47 ^b	44.21 ^a
Económica	0.87 ^b	2.78 ^b	6.84 ^b	1.61 ^b	1.09 ^a	0.97 ^a	2.06 ^a	27.44 ^a	44.23 ^a
Baja en Azúcares	0.55 ^a	2.13 ^a	4.94 ^a	1.34 ^a	0.79 ^a	0.72 ^a	1.50 ^b	33.03 ^{ab}	44.11 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

3.1.2. Prueba de contacto

En la prueba de contacto para las mayonesas lo que se puede observar tanto en la Figura 11 como en la Tabla 6 es que sólo se detectan diferencias significativas de la mayonesa baja en lípidos con respecto a las otras dos en fuerza adhesiva, trabajo adhesivo y adhesividad.

Tabla 6: *Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de mayonesas*

Tipo	Resistencia adhesiva Inicial N/s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Económica	448.96 ^a	12.56 ^a	0.22 ^a	0.31 ^a	0.47 ^a	0.07 ^a	0.85 ^a
Baja en lípidos	420.81 ^a	13.66 ^b	0.28 ^b	0.31 ^a	0.52 ^b	0.07 ^a	0.99 ^a
Regular	405.69 ^a	12.45 ^a	0.22 ^a	0.31 ^a	0.47 ^a	0.07 ^a	0.90 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

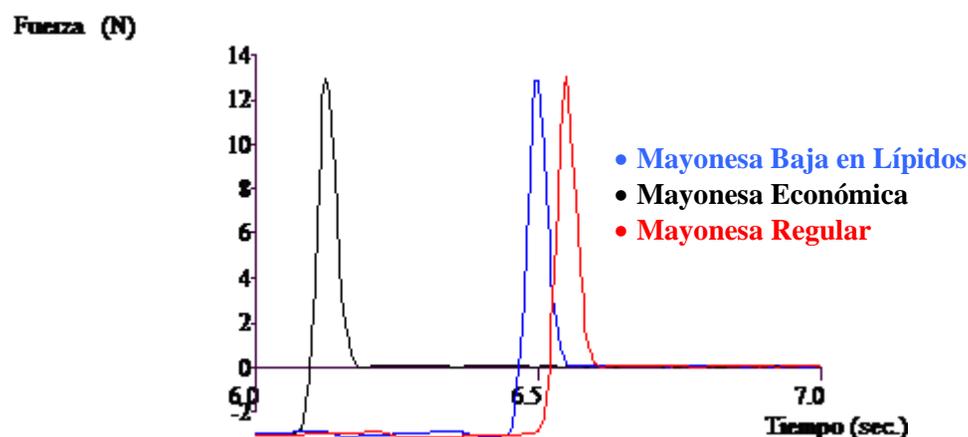


Figura 11: Gráfico comparativo entre las mayonesas por pruebas de contacto.

Sin embargo, tanto para el caso de las cajetas (Figura 12 y Tabla 7) como para las cremas de cacahuete (Figura 13 y Tabla 8) analizadas no existe diferencia significativa entre los tipos estudiados en ninguno de los parámetros texturales mencionados con excepción del estiramiento.

Tabla 7: *Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de cajetas*

Tipo	Resistencia Adhesiva inicial N/s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Reducida en Azúcares	422.35 ^a	20.78 ^a	0.58 ^a	0.59 ^a	1.07 ^a	0.06 ^a	1.19 ^a
Regular	419.26 ^a	20.76 ^a	0.52 ^a	0.64 ^a	1.06 ^a	0.06 ^a	1.17 ^a
Económica	434.17 ^a	22.11 ^a	0.57 ^a	0.58 ^a	1.04 ^a	0.05 ^b	1.11 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Por lo que podemos decir que la prueba de adhesividad por contacto no es la adecuada para determinar las diferencias entre los tipos de productos estudiados ni sus parámetros texturales. Debido a lo anterior podemos concluir que la prueba que nos permite dar solución a nuestro objetivo 1 el cual era: evaluar las propiedades adhesivas de diferentes tipos de alimentos semisólidos comerciales con alto contenido de grasa y/o azúcar mediante pruebas por contacto y por penetración, eligiendo aquella que permita una apropiada diferenciación de los grados de calidad textural en cada producto; es la prueba de adhesividad por penetración y retirada, ya que se pueden apreciar más diferencias significativas tanto entre los 3 tipos de mayonesa como entre los 3 tipos de cajetas y entre un tipo de crema de cacahuete con las otras dos en la mayoría de los parámetros texturales estudiados a diferencia de lo encontrado con la prueba de contacto.

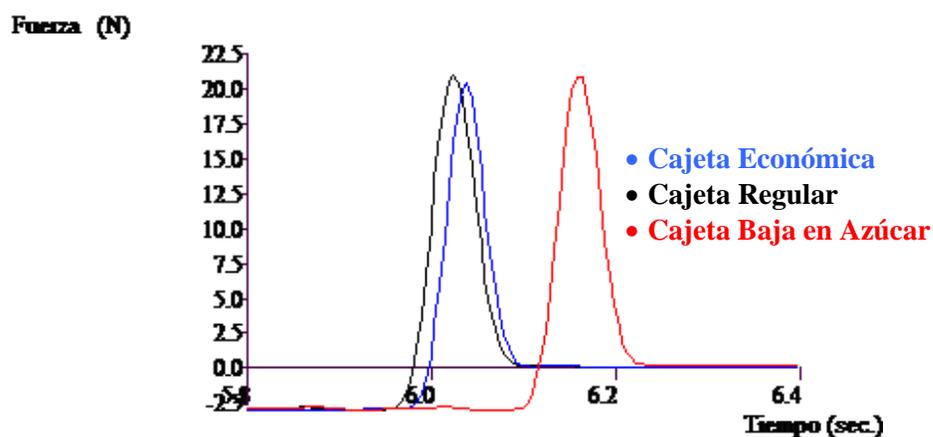


Figura 12: Gráfico comparativo entre las cajetas por pruebas de contacto.

Tabla 8: *Parámetros texturales de la prueba de contacto para los diferentes tipos de cremas de cacahuete*

Tipo	Resistencia Adhesiva inicial N/s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	419.26 ^a	21.74 ^a	0.52 ^a	0.64 ^a	1.06 ^a	0.07 ^a	1.17 ^a
Económica	434.17 ^a	22.11 ^a	0.57 ^a	0.58 ^a	1.04 ^a	0.33 ^a	1.11 ^b
Baja en Azúcares	422.35 ^a	20.78 ^a	0.58 ^a	0.59 ^a	1.07 ^a	3.80 ^b	1.19 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

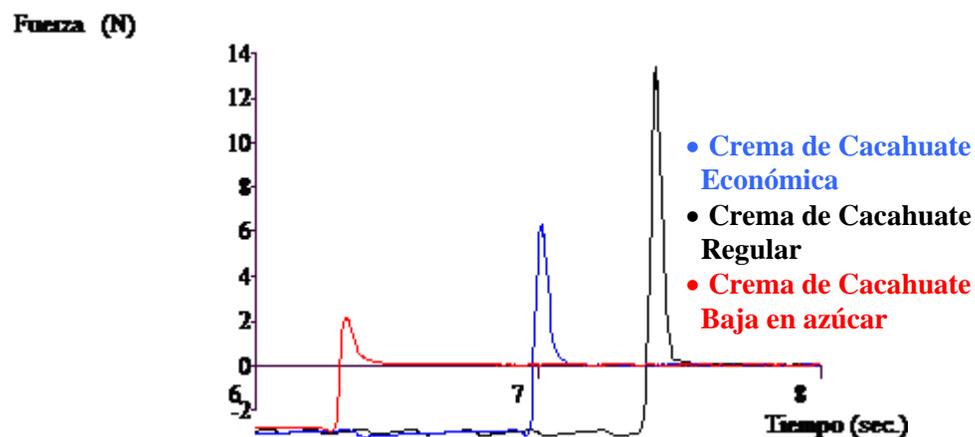


Figura 13: Gráfico comparativo entre las cremas de cacahuete por pruebas de contacto.

3.2. Objetivo 2

3.2.1. Efecto del material del dispositivo en la prueba por penetración

En la Figura 14 y la Tabla 9 se muestran las comparaciones y los datos obtenidos para la mayonesa regular usando 3 diferentes materiales del dispositivo (aluminio, acero inoxidable y acrílico). Se puede observar que el material con el que se obtuvieron los valores más altos de los parámetros texturales es el acero inoxidable (ver Tabla 9) mostrando una diferencia significativa con los otros dos materiales en lo que respecta a fuerza adhesiva y adhesividad, mientras que para la dureza y trabajo de penetración es significativamente diferente en cuanto al aluminio pero no así con el acrílico. Esto está de acuerdo a lo que se reporta en la bibliografía que los materiales que suelen presentar mayores parámetros adhesivos son los metales, aunque el acrílico, a pesar de pertenecer al grupo de los plásticos, también presenta valores altos, muy parecidos a los del aluminio, que también es un metal, por ejemplo en el trabajo de penetración las fuerzas fueron casi iguales para ambos materiales.

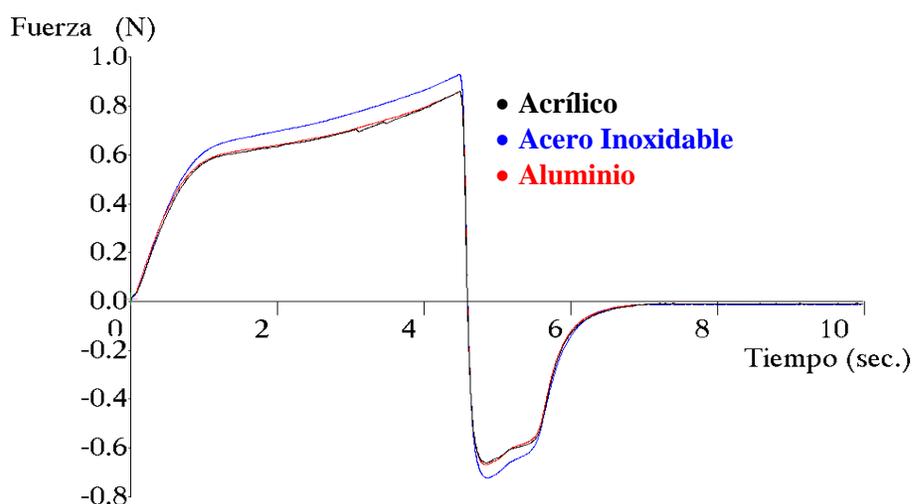


Figura 14: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa regular.

Existe un claro predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo para cualquiera de los tres materiales estudiados (ver Tabla 9), lo que nos demuestra nuevamente que aunque existe una falla cohesivo-adhesiva el predominio es cohesivo. El material con el que se puede observar una menor untabilidad es con el acrílico, aunque tuvo una menor fuerza adhesiva su estiramiento fue más pequeño por lo que el valor de untabilidad obtenido también fue pequeño.

Tabla 9: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa regular.

Material	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.86 ^a	0.87 ^{ab}	2.82 ^{ab}	-0.68 ^a	-0.14 ^a	-0.63 ^a	-0.77 ^{ab}	49.87 ^a	33.89 ^b
Acero	0.91 ^a	0.93 ^a	3.00 ^a	-0.73 ^b	-0.15 ^a	-0.67 ^a	-0.82 ^a	53.57 ^b	38.93 ^a
Aluminio	0.84 ^a	0.86 ^b	2.78 ^b	-0.67 ^a	-0.13 ^a	-0.63 ^a	-0.76 ^b	57.99 ^c	38.94 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

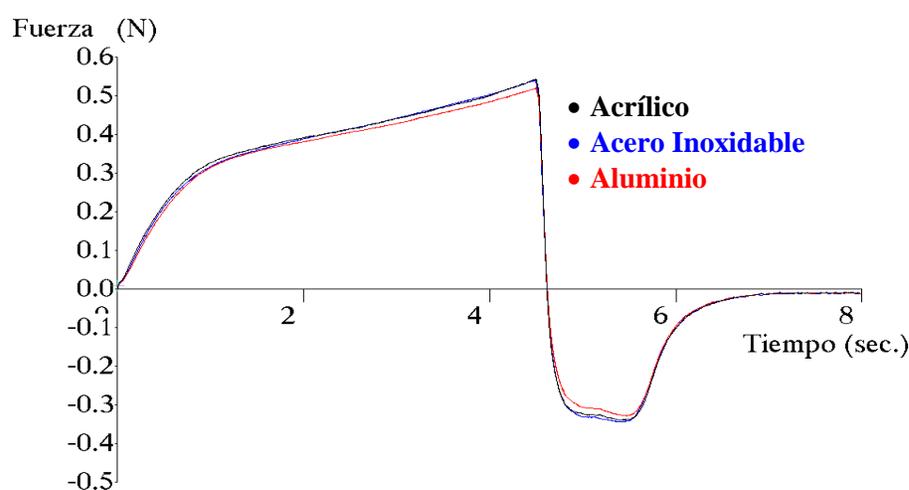


Figura 15: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa baja en lípidos.

Tabla 10: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.50 ^b	0.55 ^a	1.73 ^a	-0.35 ^a	-0.24 ^a	-0.20 ^a	-0.44 ^a	107.25 ^a	37.47 ^a
Acero	0.46 ^a	0.54 ^{ab}	1.69 ^a	-0.35 ^a	-0.24 ^a	-0.20 ^a	-0.44 ^a	111.84 ^b	38.74 ^b
Aluminio	0.46 ^a	0.52 ^b	1.64 ^b	-0.33 ^b	-0.23 ^a	-0.18 ^a	-0.41 ^b	117.33 ^c	38.71 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

En el caso de la mayonesa baja en lípidos (Figura 15 y Tabla 10) los mayores parámetros texturales se encuentran con el acrílico pero, realmente, estadísticamente no existe diferencia

significativa entre los valores alcanzados con el acrílico y los alcanzados con el acero inoxidable aunque sí la existe con el aluminio pues es el que tiene los valores más bajos para todos los parámetros excepto el estiramiento. En las propiedades relacionadas con la dureza (resistencia inicial a la penetración, dureza y trabajo de penetración), con acrílico se obtuvieron los valores más altos estadísticamente iguales a los evaluados con acero para la dureza y trabajo de penetración. En cuanto a las propiedades adhesivas, sólo hubo diferencias en adhesividad, untabilidad y estiramiento; con acrílico y acero iguales en adhesividad y ligeramente mayores a los valores con aluminio.

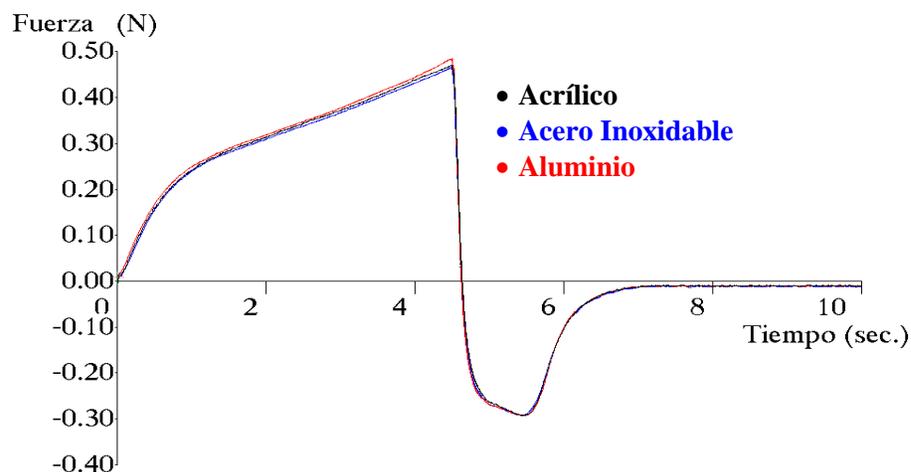


Figura 16: Gráfico comparativo entre los materiales para la mayonesa de marca económica.

En la Tabla 10 podemos observar que predomina el trabajo adhesivo sobre el cohesivo pero por muy poco, debido a que sus valores son muy similares por lo que podemos decir que existe una falla adhesivo-cohesiva casi equilibrada ya que las fuerzas tienen escasa diferencia entre sí; en lo que respecta a la adhesividad, trabajo cohesivo, trabajo adhesivo y fuerza adhesiva, los valores son exactamente los mismos tanto para el acero inoxidable como para el acrílico por lo que no existe diferencia entre utilizar uno u otro tal como se puede apreciar mejor en la Figura 15.

Para el caso de la mayonesa de marca económica (Figura 16) los mayores parámetros texturales se encuentran con el cilindro de aluminio (ver Tabla 11) cosa que no había ocurrido en ninguno de los casos anteriores aunque en realidad hubo pocas diferencias estadísticas entre los tres materiales utilizados; en trabajo de penetración y trabajo adhesivo, acrílico y aluminio dieron valores estadísticamente iguales y mayores a los obtenidos con acero. En cuanto a propiedades adhesivas, con acrílico y aluminio se obtuvieron valores iguales y mayores que

con acero en trabajo adhesivo. En untabilidad y estiramiento los tres materiales dieron valores diferentes y con aluminio se obtuvieron la mayor untabilidad y estiramiento y con acrílico los más bajos.

Tabla 11: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la mayonesa de marca económica.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.37 ^a	0.48 ^a	1.42 ^b	-0.29 ^a	-0.20 ^a	-0.18 ^a	-0.38 ^a	121.29 ^a	36.28 ^a
Acero	0.37 ^a	0.46 ^a	1.37 ^a	-0.29 ^a	-0.18 ^b	-0.19 ^a	-0.37 ^a	131.47 ^b	38.61 ^b
Aluminio	0.38 ^a	0.48 ^a	1.42 ^b	-0.29 ^a	-0.21 ^a	-0.17 ^a	-0.38 ^a	148.39 ^c	43.69 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

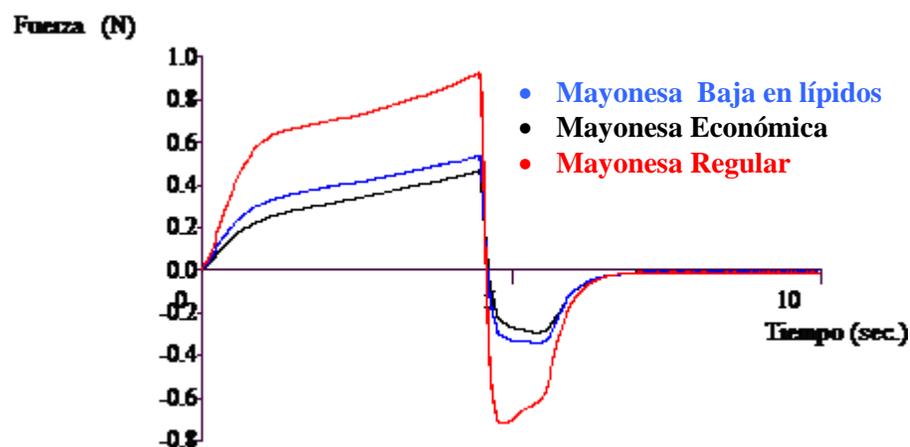


Figura 17: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.

Comparando las tres mayonesas usando el dispositivo del acero inoxidable (Figura 17 y Tabla 12) se vuelve a apreciar que la regular es la que presenta mayores parámetros texturales presentando nuevamente un mucho mayor trabajo cohesivo que adhesivo generando una falla cohesivo-adhesiva con predominio cohesivo, mientras que para el caso de las otras dos mayonesas tanto el trabajo adhesivo como el cohesivo presentan valores similares lo que indica que la falla es equilibrada entre adhesiva y cohesiva. Como se describió con anterioridad la mayonesa más adhesiva sigue siendo la regular muy probablemente por su contenido de lípidos y al mismo tiempo es la menos untable. Lo mismo se puede apreciar al

observar los datos obtenidos con el dispositivo de aluminio (Tabla 13 y Figura 18) o el de acrílico (Tabla 14 y Figura 19).

Tabla 12: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.91 ^a	0.93 ^a	3.00 ^a	-0.72 ^a	-0.15 ^a	-0.67 ^b	-0.82 ^a	53.61 ^a	38.92 ^a
Baja en Lípidos	0.46 ^b	0.54 ^b	1.69 ^b	-0.34 ^b	-0.23 ^b	-0.20 ^a	-0.44 ^b	111.85 ^b	38.74 ^b
Económica	0.37 ^c	0.46 ^c	1.37 ^c	-0.29 ^c	-0.18 ^c	-0.19 ^a	-0.37 ^c	131.49 ^c	38.61 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

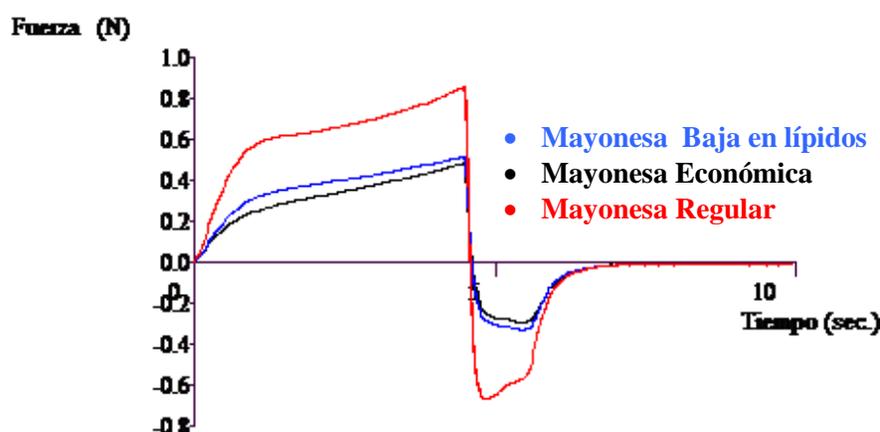


Figura 18: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.

Tabla 13: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de aluminio.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.84 ^a	0.85 ^a	2.77 ^a	-0.67 ^a	-0.13 ^a	-0.63 ^b	-0.76 ^a	57.99 ^a	38.94 ^a
Baja en Lípidos	0.46 ^b	0.51 ^b	1.64 ^b	-0.32 ^b	-0.23 ^b	-0.18 ^a	-0.41 ^b	117.35 ^b	38.71 ^b
Económica	0.38 ^c	0.48 ^c	1.42 ^c	-0.29 ^c	-0.21 ^c	-0.17 ^a	-0.38 ^c	148.39 ^c	43.69 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

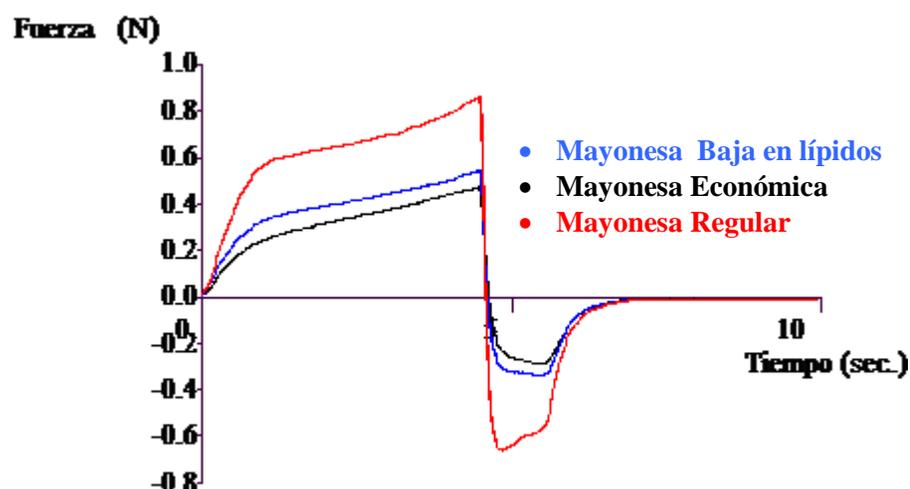


Figura 19: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las mayonesas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.

Tabla 14: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de mayonesas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.86 ^a	0.86 ^a	2.82 ^a	-0.67 ^a	-0.14 ^a	-0.63 ^b	-0.77 ^a	49.95 ^a	33.88 ^a
Baja en Lípidos	0.50 ^b	0.55 ^b	1.73 ^b	-0.34 ^b	-0.24 ^b	-0.20 ^a	-0.44 ^b	107.28 ^b	37.47 ^b
Económica	0.37 ^c	0.48 ^c	1.42 ^c	-0.29 ^c	-0.20 ^c	-0.18 ^a	-0.38 ^c	121.31 ^c	36.27 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Por otro lado, en la prueba de adhesividad por penetración y retirada para la cajeta regular (Figura 20 y Tabla 15) se encontró que existe diferencia significativa entre los materiales utilizados a excepción de 3 parámetros (dureza, fuerza adhesiva y trabajo adhesivo) donde el acero inoxidable y el aluminio no tienen diferencia entre ellos pero sí con el acrílico, siendo este último el que presentó los mayores valores en casi todos los parámetros texturales (incluyendo la adhesividad), menos la untabilidad donde con acero inoxidable se produce el valor más alto. Con todos los materiales se detecta, por mucho, un mayor trabajo cohesivo que adhesivo, produciendo una falla cohesivo-adhesiva.

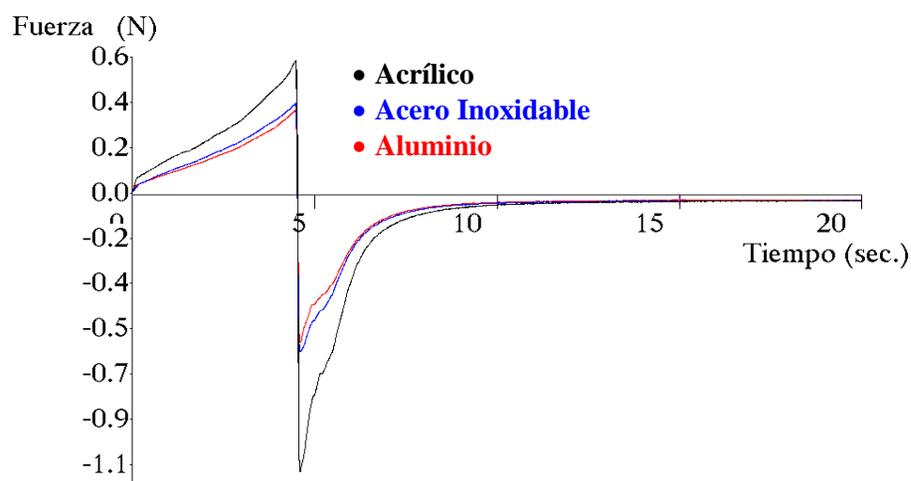


Figura 20: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta regular.

Tabla 15: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta regular.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.07 ^a	0.54 ^b	1.14 ^a	-1.12 ^b	-0.06 ^b	-1.64 ^a	-1.69 ^a	119.73 ^a	134.46 ^a
Acero	0.06 ^b	0.37 ^a	0.79 ^b	-0.64 ^a	-0.03 ^a	-1.09 ^b	-1.13 ^b	178.11 ^b	114.47 ^b
Aluminio	0.05 ^c	0.35 ^a	0.72 ^c	-0.60 ^a	-0.03 ^a	-0.94 ^c	-0.97 ^c	156.92 ^c	94.45 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

En lo que respecta a la cajeta baja en azúcares (Figura 21 y Tabla 16) no existe diferencia significativa entre el acero y acrílico aunque este último presenta valores de los parámetros texturales un poco por encima de los del acero inoxidable. Ambos materiales sí presentaron diferencia significativa con respecto al aluminio el cual mostró valores por debajo de los logrados con los dos materiales mencionados con anterioridad. Nuevamente existe un predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo. Lo interesante de este caso es la similitud en los valores obtenidos con el acero y el acrílico, lo que probablemente significa que la cajeta al tener menos azúcares se adhiere mejor al acero, esto se puede observar al comparar los resultados de adhesividad de la cajeta regular y la baja en azúcar, en la primera el parámetro de adhesividad es mucho más alto para el acrílico que para el acero, mientras que en la segunda en éste parámetro se tienen exactamente los mismos valores, lo que lleva a pensar que los azúcares imparten características adhesivas que se fijan mejor a materiales plásticos

cuando se encuentran en grandes cantidades y a materiales como los metales cuando se encuentran en baja proporción.

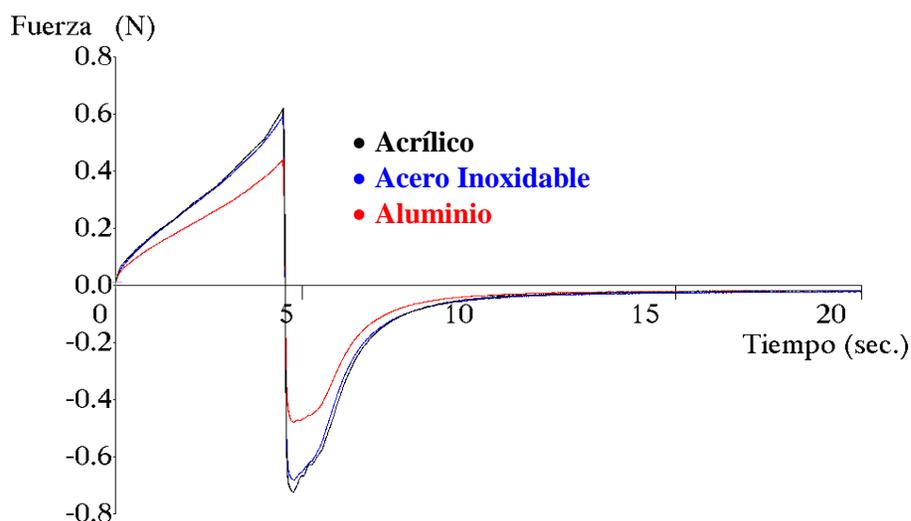


Figura 21: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta baja en azúcares.

Tabla 16: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcares.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.11 ^a	0.62 ^a	1.39 ^a	-0.72 ^a	-0.13 ^a	-1.44 ^a	-1.56 ^a	187.15 ^a	134.36 ^a
Acero	0.13 ^b	0.59 ^a	1.36 ^a	-0.69 ^a	-0.14 ^a	-1.42 ^a	-1.56 ^a	195.86 ^a	134.36 ^a
Aluminio	0.08 ^c	0.44 ^b	1.04 ^b	-0.49 ^b	-0.10 ^a	-1.03 ^b	-1.13 ^b	235.25 ^b	114.33 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Finalmente lo que ocurre con la cajeta de marca económica (Figura 22 y Tabla 17) es que el material que presenta los parámetros texturales más altos es el acero inoxidable y de hecho es el que presenta una diferencia significativa con respecto a los otros dos materiales, mientras que entre éstos los valores son estadísticamente iguales, con excepción del estiramiento donde el acrílico es el que presenta el mayor valor. Lo que pudiera suceder en este caso es que en esta cajeta los azúcares llegaban a cristalizar (eso se observó a simple vista durante la experimentación) pues solo contiene glucosa por lo que interaccionaba mejor con el acero inoxidable, también pudiera decirse que la cajeta cuando contiene glucosa y azúcar en gran cantidad se adhiere mejor al acrílico, si tiene glucosa y azúcar en baja proporción es indiferente el uso de acero y acrílico y si únicamente contiene glucosa cristalizará afectando la

forma en que interacciona con el material de contacto adhiriéndose mejor al acero inoxidable. Esto puede explicar también los valores más bajos de adhesividad de esa cajeta con todos los materiales.

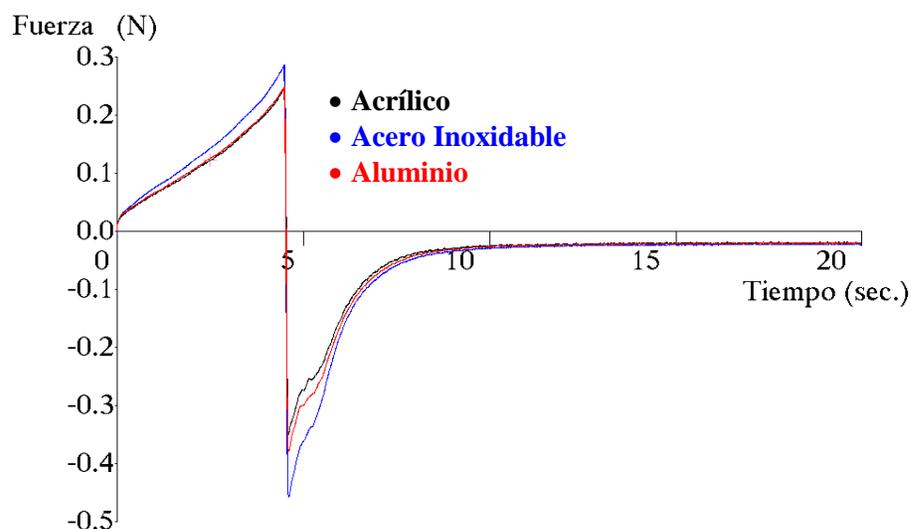


Figura 22: Gráfico comparativo entre los materiales para la cajeta de marca económica.

Al hacer una comparación entre los tres tipos de cajetas usando como dispositivo el cilindro de una pulgada de acero inoxidable (Figura 23 y Tabla 18) se puede notar que la cajeta baja en azúcar presenta mayores parámetros texturales (incluyendo la adhesividad y fuerza adhesiva) con excepción del parámetro de untabilidad, cosa que no ocurre cuando se utiliza como dispositivo el cilindro de acrílico (Figura 25 y Tabla 20) donde los mayores parámetros texturales de adhesividad, fuerza adhesiva y trabajo cohesivo se tienen con la cajeta regular, algo parecido ocurre con el aluminio (Figura 24 y Tabla 19), los mayores parámetros se tienen con la cajeta baja en azúcar con excepción de la fuerza adhesiva la cual es mayor en la cajeta regular y la untabilidad que es más grande en la cajeta económica; con lo anterior se corrobora que dependiendo de la composición del alimento es como interactúan de diferente manera con el dispositivo que se este utilizando para su estudio; alimentos con alto contenido de azúcares interactúan mejor con el acrílico como es el caso de la cajeta regular y alimentos bajos en azúcares se describen mejor utilizando metales como el acero inoxidable como se observa en el caso de la cajeta baja en azúcar y económica.

Tabla 17: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la cajeta de marca económica.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.04 ^a	0.24 ^a	0.51 ^a	-0.34 ^a	-0.01 ^a	-0.68 ^a	-0.69 ^a	338.35 ^a	114.47 ^b
Acero	0.04 ^a	0.28 ^b	0.61 ^b	-0.46 ^b	-0.03 ^b	-0.81 ^b	-0.84 ^b	226.64 ^b	104.48 ^a
Aluminio	0.04 ^a	0.24 ^a	0.54 ^a	-0.38 ^a	-0.01 ^a	-0.72 ^c	-0.74 ^c	274.59 ^c	104.45 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

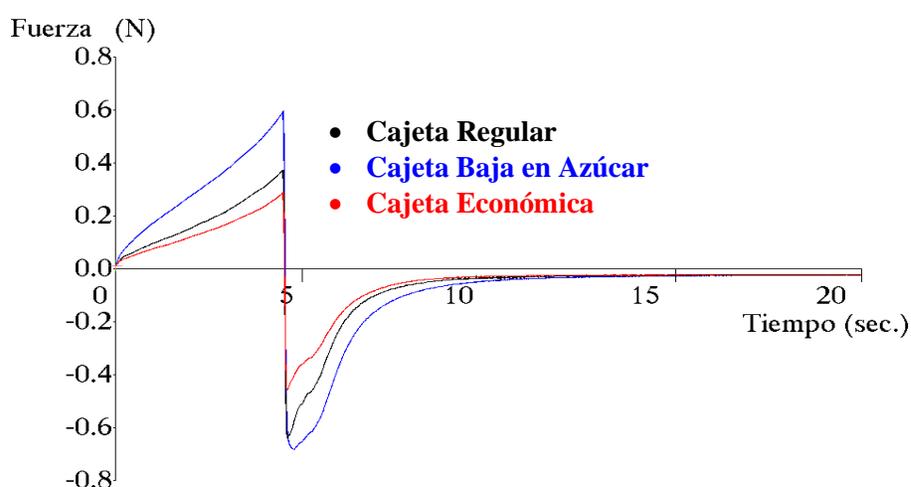


Figura 23: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.

Tabla 18: Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.06 ^a	0.37 ^a	0.79 ^a	-0.64 ^{ab}	-0.03 ^a	-1.09 ^a	-1.12 ^a	178.43 ^a	114.47 ^a
Baja en Azúcar	0.13 ^b	0.59 ^b	1.35 ^b	-0.68 ^a	-0.14 ^b	-1.42 ^b	-1.56 ^b	196.21 ^a	134.36 ^b
Económica	0.04 ^c	0.28 ^c	0.61 ^c	-0.46 ^b	-0.02 ^a	-0.81 ^c	-0.84 ^c	227.57 ^b	104.48 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

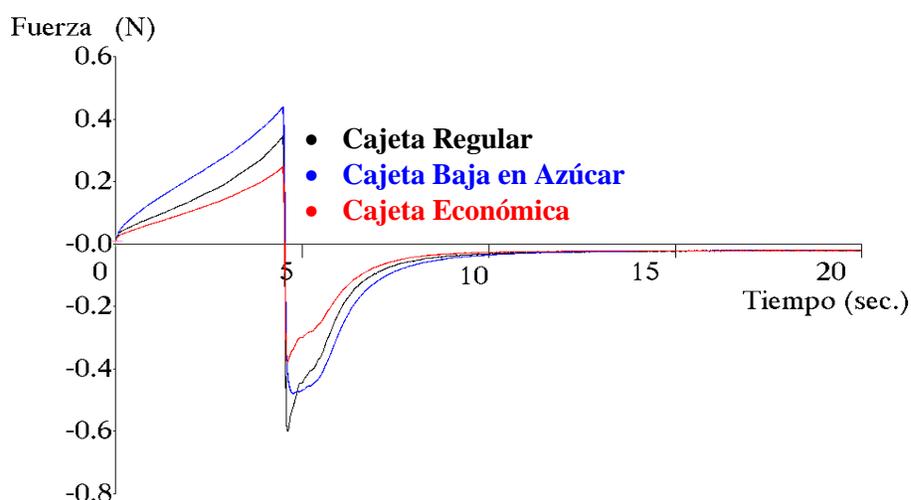


Figura 24: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.

Tabla 19: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de aluminio.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.05 ^a	0.34 ^a	0.72 ^a	-0.60 ^a	-0.03 ^a	-0.94 ^a	-0.97 ^a	157.32 ^a	94.45 ^a
Baja en Azúcar	0.08 ^b	0.43 ^b	1.03 ^b	-0.48 ^b	-0.10 ^b	-1.02 ^b	-1.12 ^b	236.15 ^b	114.33 ^b
Económica	0.03 ^c	0.24 ^c	0.53 ^c	-0.38 ^c	-0.01 ^a	-0.72 ^c	-0.74 ^c	275.73 ^c	104.44 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

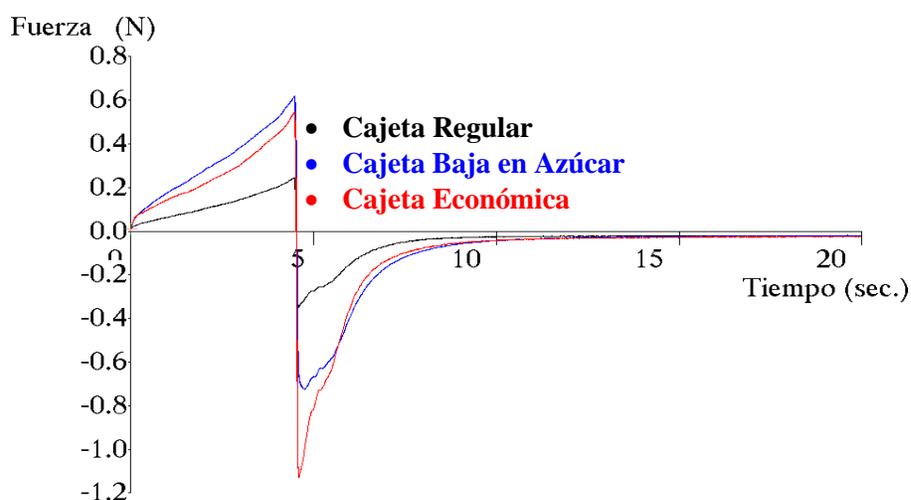


Figura 25: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cajetas por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.

Tabla 20: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cajetas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.07 ^a	0.54 ^a	1.13 ^a	-1.12 ^a	-0.06 ^a	-1.63 ^a	-1.69 ^a	119.80 ^a	134.46 ^a
Baja en Azúcar	0.10 ^b	0.61 ^b	1.39 ^b	-0.71 ^b	-0.12 ^b	-1.43 ^b	-1.56 ^b	187.17 ^b	134.36 ^b
Económica	0.03 ^c	0.23 ^c	0.51 ^c	-0.33 ^c	-0.01 ^c	-0.68 ^c	-0.69 ^c	339.94 ^c	114.47 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

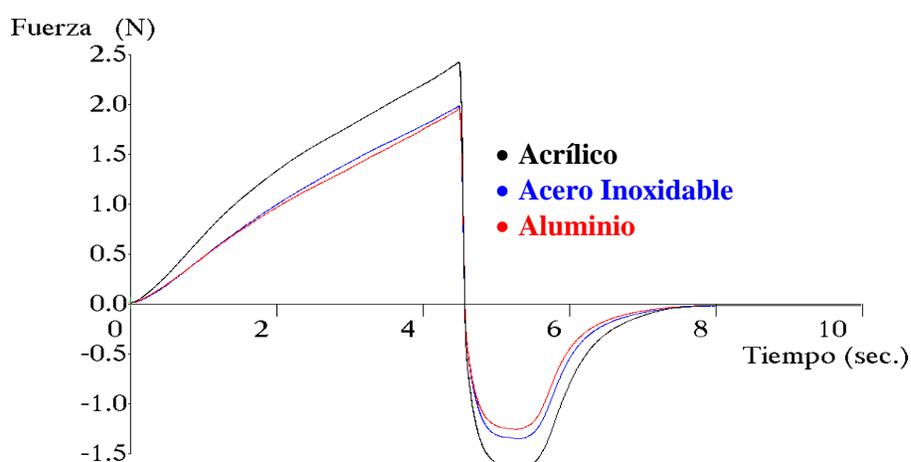


Figura 26: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete regular.

En lo que respecta a la crema de cacahuete regular (Figura 26 y Tabla 21), el material que presenta mayores valores de resistencia inicial a la penetración, dureza, trabajo de penetración, fuerza adhesiva y trabajo adhesivo, además de tener diferencia significativa con los otros dos, es el acrílico, siendo, únicamente, en la adhesividad, el estiramiento y la untabilidad donde los 3 materiales fueron significativamente diferentes, pues en el resto de los parámetros tanto el aluminio como el acero inoxidable tenían valores muy similares. En lo que respecta a la resistencia inicial a la penetración, dureza y trabajo de penetración probablemente ocurra lo mismo que con la cajeta, ya que el acero y el aluminio por ser metales le cueste menos trabajo penetrar un material blando que al acrílico que es un plástico. Existe un predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo aunque no tan importante como en el caso de las cajetas. Se puede observar que se obtiene una mayor adhesividad con el acrílico, esto probablemente se deba a que la crema de cacahuete regular tiene gran cantidad de azúcares pues es del tipo dulce, y

finalmente se obtiene una mayor untabilidad con el aluminio, que presenta la menor fuerza adhesiva.

Tabla 21: *Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuate regular.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.76 ^b	2.42 ^b	6.05 ^b	-1.64 ^b	-1.09 ^b	-1.29 ^a	-2.37 ^a	23.93 ^a	39.20 ^a
Acero	0.56 ^a	1.98 ^a	4.71 ^a	-1.36 ^a	-0.76 ^a	-1.12 ^a	-1.87 ^b	32.52 ^b	44.19 ^b
Aluminio	0.55 ^a	1.96 ^a	4.59 ^a	-1.27 ^a	-0.64 ^a	-1.06 ^a	-1.69 ^c	38.77 ^c	49.18 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 22: *Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuate baja en azúcares.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	0.49 ^b	1.88 ^a	4.14 ^a	-1.22 ^a	-0.76 ^a	-0.98 ^a	-1.74 ^b	32.10 ^a	39.14 ^a
Acero	1.00 ^a	3.49 ^b	8.86 ^b	-2.21 ^b	-1.06 ^a	-1.26 ^a	-2.32 ^a	17.68 ^b	39.14 ^a
Aluminio	0.77 ^a	2.70 ^c	6.62 ^c	-1.65 ^c	-0.89 ^a	-1.00 ^a	-1.89 ^a	23.73 ^c	39.13 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Por otro lado, al analizar los datos obtenidos para la crema de cacahuate baja en azúcares (Tabla 22 y Figura 27) se puede observar que existe una diferencia significativa entre los 3 materiales utilizados en 3 de los parámetros estudiados (dureza, trabajo de penetración y fuerza adhesiva), mientras que en el trabajo adhesivo, trabajo cohesivo y estiramiento no existió diferencia entre ninguno de los materiales; y en lo que respecta a la resistencia inicial a la penetración y adhesividad, el acrílico es el que tiene diferencia significativa con los otros materiales, además éste fue el que presentó los menores parámetros texturales, mientras que el acero tuvo los valores más altos, con excepción de la untabilidad donde se presenta el caso contrario. Existe un predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo lo que genera una falla cohesivo-adhesiva con predominio cohesivo pero no tan marcada como en el caso de las cajetas. En este caso a diferencia de la crema de cacahuate regular el material con el que se

detecta una mayor adhesividad es con el acero inoxidable, esto probablemente se deba a la cantidad lípidos que contenía la muestra pues como se dijo con anterioridad aunque era reducida en azúcares sensorialmente se sentía muy grasosa (45.4% de lípidos).

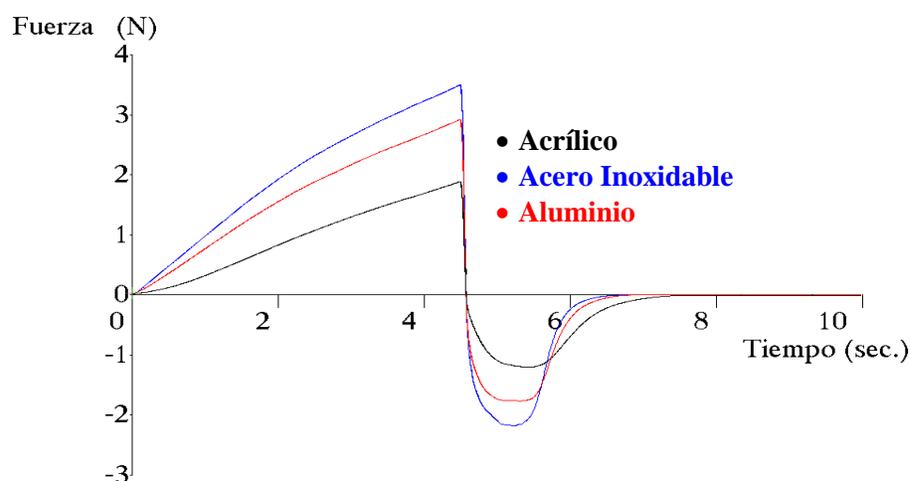


Figura 27: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete baja en azúcares.

Tabla 23: Efecto del material del dispositivo sobre los parámetros texturales de la prueba de penetración para la crema de cacahuete de marca económica.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Acrílico	1.03 ^a	3.41 ^{ab}	8.56 ^{ab}	-2.04 ^{ab}	-1.64 ^a	-1.15 ^a	-2.78 ^a	21.63 ^a	44.23 ^a
Acero	0.86 ^b	2.78 ^a	7.09 ^a	-1.66 ^a	-1.14 ^a	-1.01 ^a	-2.14 ^b	26.37 ^b	43.80 ^a
Aluminio	1.20 ^c	3.87 ^b	9.54 ^b	-2.19 ^b	-1.68 ^a	-1.21 ^a	-2.87 ^a	17.89 ^a	39.21 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Los datos obtenidos para la crema de cacahuete de marca económica (Figura 28 y Tabla 23) muestran que los mayores valores de los parámetros texturales se encuentran con el aluminio y que además sí existe diferencia significativa entre los materiales en algunos de los parámetros analizados, por ejemplo en lo que respecta a dureza y trabajo de penetración el acrílico y el acero son iguales y difieren del aluminio pero al mismo tiempo el aluminio y el acrílico son iguales y difieren del acero. En lo que respecta al trabajo adhesivo y al trabajo cohesivo no existió ninguna diferencia entre los valores de cada material, sin embargo, esta vez existe un predominio del trabajo adhesivo sobre el cohesivo, generando una falla adhesivo-cohesiva con

predominio adhesivo; en cuanto a la adhesividad el material que presentó diferencia significativa con respecto a los otros dos fue el acero pero con valores por debajo de ellos. Es interesante que al material que detecta los mayores valores sea al aluminio pues fue en la única muestra que ocurrió esto, tal vez se deba al tipo de lípidos (ya que es una muestra que contienen bastante de ellos y de diferentes tipos además de los contenidos por los cacahuates en sí) y que éstos no se encontraban debidamente emulsificados dentro de la muestra, lo que es indicativo de que alimentos con alto contenido de lípidos se adhieren mejor a los metales.

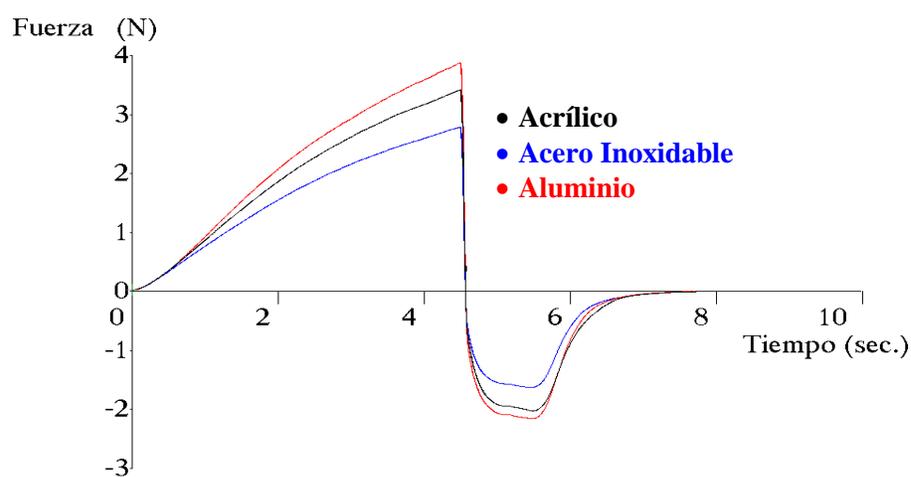


Figura 28: Gráfico comparativo entre los materiales para la crema de cacahuete de marca económica.

Al comparar las cremas de cacahuete con el dispositivo de acero inoxidable (Tabla 24 y Figura 29) se puede apreciar que la que tiene mayores parámetros texturales (a excepción de la untabilidad) es la baja en azúcar y como se describió con anterioridad también es más lípida (45.4%) por lo que nuevamente se comprueba que alimentos altamente lipídicos interaccionan mejor con los metales; en el caso del dispositivo de aluminio (Tabla 25 y Figura 30) los mayores parámetros texturales (a excepción de la untabilidad y el estiramiento) se encuentran con la crema de cacahuete de marca económica, muy parecido a lo que ocurre con el acrílico, sólo que en este caso se exceptúan el trabajo cohesivo y la untabilidad.

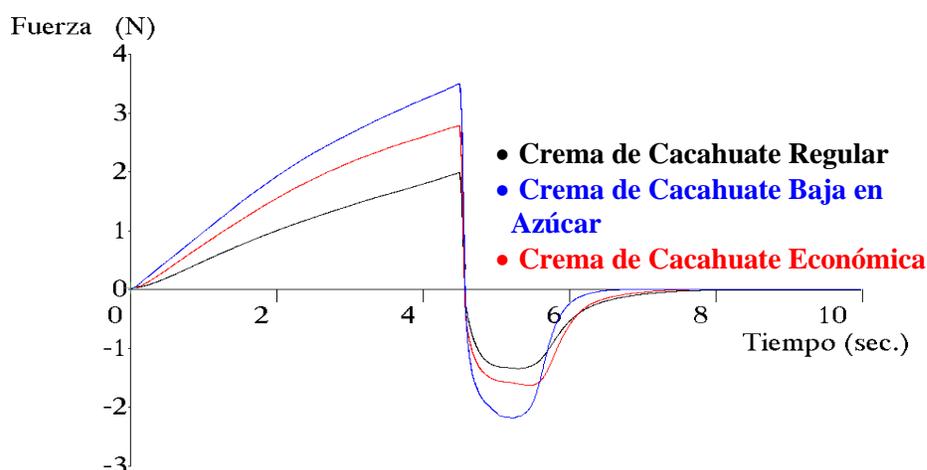


Figura 29: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable de 1in.

Tabla 24: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de acero inoxidable.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.56 ^a	1.98 ^a	4.70 ^a	-1.35 ^a	-0.76 ^a	-1.11 ^a	-1.87 ^b	32.62 ^a	44.19 ^a
Baja en Azúcar	1.00 ^b	3.49 ^b	8.85 ^b	-2.21 ^b	-1.06 ^a	-1.26 ^a	-2.31 ^a	17.77 ^b	39.14 ^b
Económica	0.85 ^c	2.78 ^c	7.08 ^c	-1.66 ^c	-1.14 ^a	-1.00 ^a	-2.14 ^a	26.57 ^c	43.80 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

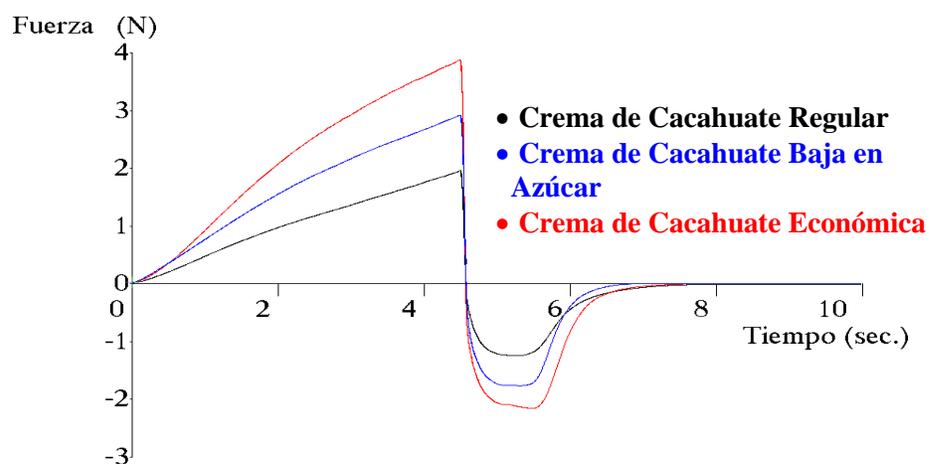


Figura 30: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de aluminio.

Tabla 25: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de aluminio.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.54 ^a	1.95 ^a	4.58 ^a	-1.26 ^a	-0.63 ^a	-1.06 ^a	-1.69 ^a	38.80 ^a	49.17 ^a
Baja en Azúcar	0.77 ^b	2.70 ^b	6.61 ^b	-1.64 ^b	-0.89 ^a	-1.00 ^a	-1.89 ^a	24.05 ^b	39.12 ^b
Económica	1.20 ^c	3.87 ^c	9.53 ^c	-2.19 ^c	-1.67 ^b	-1.20 ^a	-2.87 ^b	18.03 ^c	39.21 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

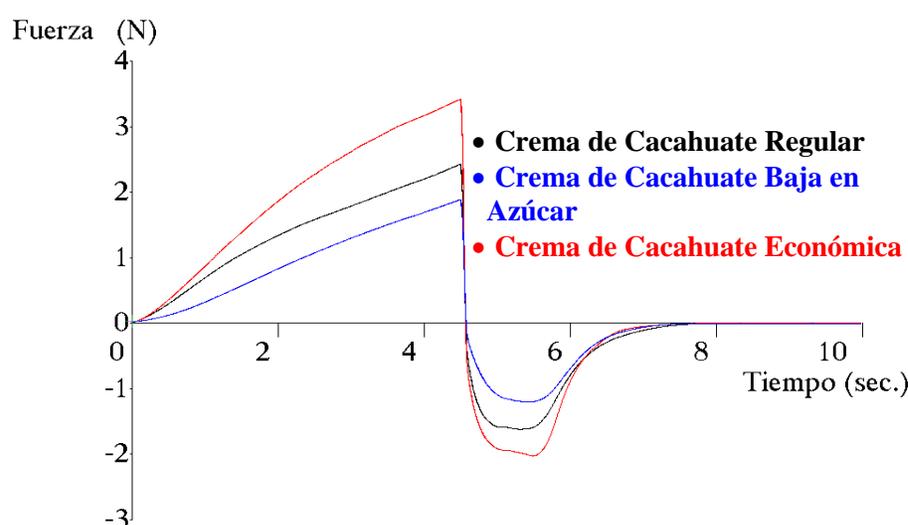


Figura 31: Gráfico comparativo entre los valores de media aritmética de las cremas de cacahuete por prueba de penetración usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.

Tabla 26: *Parámetros texturales de la prueba de penetración para los diferentes tipos de cremas de cacahuete usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración. N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Regular	0.75 ^a	2.42 ^a	6.04 ^a	-1.63 ^a	-1.08 ^a	-1.29 ^a	-2.37 ^a	23.97 ^a	39.20 ^a
Baja en Azúcar	0.49 ^b	1.87 ^b	4.14 ^b	-1.21 ^b	-0.75 ^a	-0.98 ^b	-1.73 ^b	32.16 ^b	39.13 ^b
Económica	1.03 ^c	3.41 ^c	8.56 ^c	-2.04 ^c	-1.64 ^b	-1.14 ^{ab}	-2.77 ^c	21.80 ^a	44.22 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

3.2.2. Efecto de la geometría del dispositivo en la prueba por penetración

En los datos que se muestran de las figuras y de las tablas correspondientes al efecto de la geometría del dispositivo se puede observar claramente que existe una diferencia significativa entre la geometría del cono y del cilindro de una pulgada, ambos de acero inoxidable, siendo con el cilindro con el que se detectan los parámetros texturales más altos para cada tipo de producto estudiado en este proyecto. Esto se debe a que el cilindro permite una mayor área de contacto entre el dispositivo y la muestra a analizar, generando que una mayor parte de la muestra se adhiera a éste sensando de manera más eficiente las fuerzas que se traducen en los parámetros texturales.

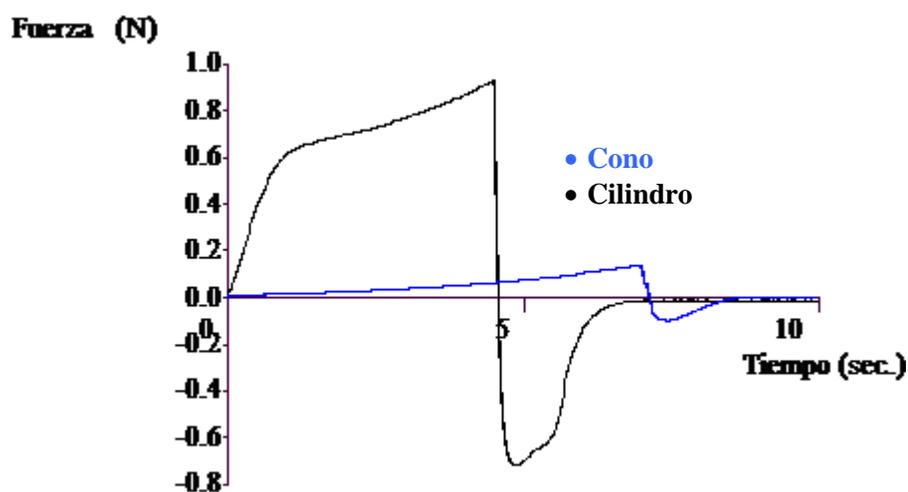


Figura 32: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa regular.

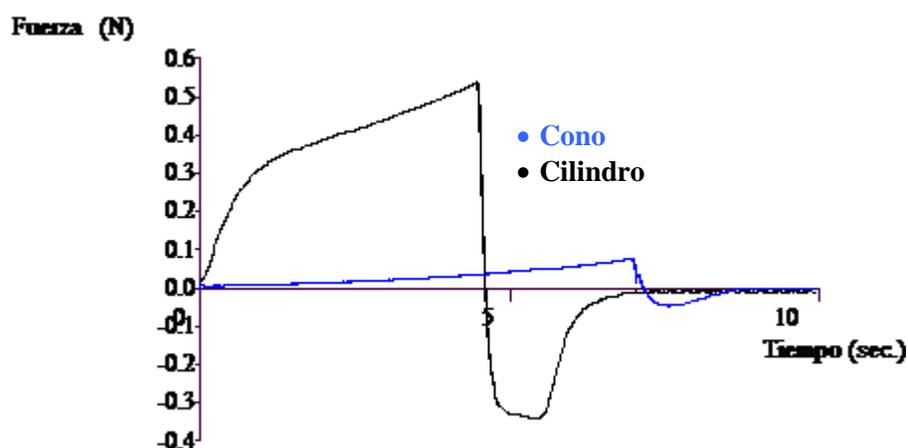


Figura 33: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa baja en lípidos.

Tabla 27: *Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa regular.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.91 ^a	0.93 ^b	3.00 ^a	-0.73 ^a	-0.15 ^b	-0.67 ^a	-0.82 ^a	53.57 ^a	38.93 ^a
Cono	0.01 ^b	0.14 ^a	0.36 ^b	-0.09 ^b	-0.02 ^a	-0.06 ^b	-0.08 ^b	236.19 ^b	23.56 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 28: *Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.46 ^a	0.54 ^a	1.69 ^a	-0.35 ^a	-0.24 ^a	-0.20 ^a	-0.44 ^a	111.84 ^a	38.74 ^a
Cono	0.01 ^b	0.07 ^b	0.19 ^b	-0.05 ^b	-0.01 ^b	-0.03 ^b	-0.05 ^b	475.39 ^b	23.25 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 29: *Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa económica.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.37 ^a	0.47 ^a	1.37 ^a	-0.29 ^a	-0.19 ^a	-0.19 ^a	-0.38 ^a	131.47 ^a	38.61 ^a
Cono	0.01 ^b	0.07 ^b	0.19 ^b	-0.05 ^b	-0.01 ^b	-0.03 ^b	-0.05 ^b	602.23 ^b	28.33 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Para la mayonesa regular (Figura 32 y Tabla 27) se puede notar que existe un predominio muy grande del trabajo cohesivo sobre el adhesivo, generando una falla cohesivo-adhesiva con predominio cohesivo; mientras que para la mayonesa baja en lípidos (Figura 33 y Tabla 28) existe un ligero predominio del trabajo adhesivo sobre el cohesivo, dando como resultado una falla adhesivo-cohesivo casi equilibrada; y finalmente en la mayonesa de marca libre (Figura

34 y Tabla 29) tanto el trabajo cohesivo como el adhesivo tienen valores iguales o muy cercanos, teniendo una falla adhesivo-cohesivo perfectamente equilibrada.

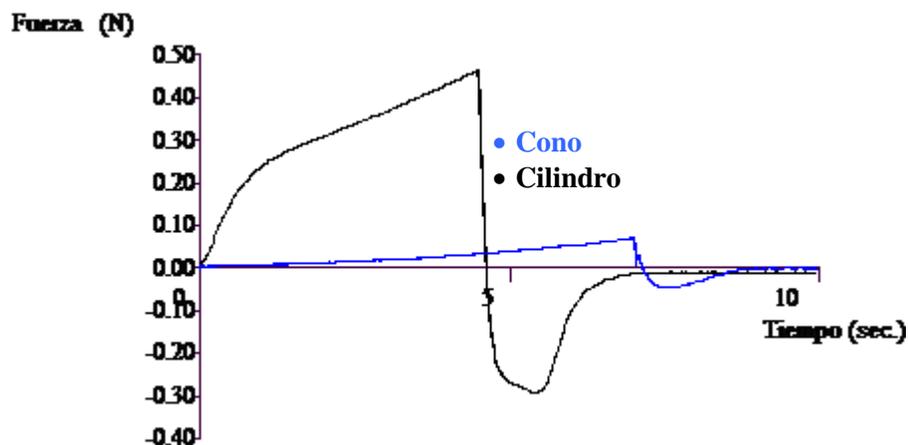


Figura 34: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la mayonesa económica.

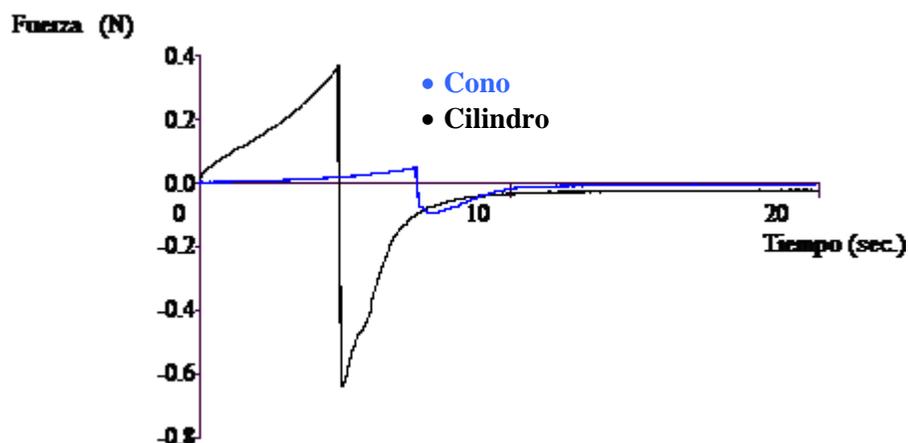


Figura 35: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta regular.

Tabla 30: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta regular.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.06 ^a	0.37 ^a	0.79 ^a	-0.64 ^a	-0.03 ^a	-1.09 ^a	-1.13 ^a	178.11 ^a	114.47 ^a
Cono	0.003 ^b	0.05 ^b	0.10 ^b	-0.09 ^b	-0.04 ^b	-0.19 ^b	-0.24 ^b	1054.38 ^b	102.05 ^a

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Para el caso de las cajetas se puede notar un claro predominio, en los 3 casos, del trabajo cohesivo sobre el adhesivo, generando una falla cohesivo-adhesiva con una mayor influencia cohesiva, se puede notar que la cajeta más dura y adhesiva es la baja en azúcar (Figura 36 y Tabla 31), mientras que la más untable es la de marca libre (Figura 37 y Tabla 32).

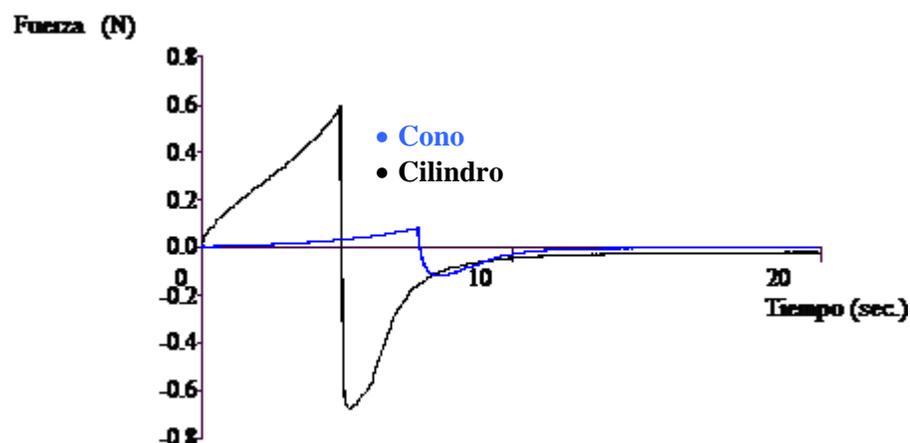


Figura 36: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta baja en azúcares.

Tabla 31: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcar.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.13 ^a	0.59 ^a	1.36 ^a	-0.69 ^a	-0.14 ^a	-1.42 ^a	-1.56 ^a	195.86 ^a	134.36 ^a
Cono	0.005 ^b	0.08 ^b	0.19 ^b	-0.12 ^b	-0.06 ^a	-0.25 ^b	-0.32 ^b	889.85 ^b	109.48 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 32: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta económica.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.04 ^a	0.28 ^a	0.61 ^a	-0.46 ^a	-0.03 ^a	-0.82 ^a	-0.84 ^a	226.64 ^a	104.48 ^a
Cono	0.003 ^b	0.05 ^b	0.13 ^b	-0.08 ^b	-0.04 ^a	-0.19 ^b	-0.22 ^b	1282.34 ^b	99.56 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

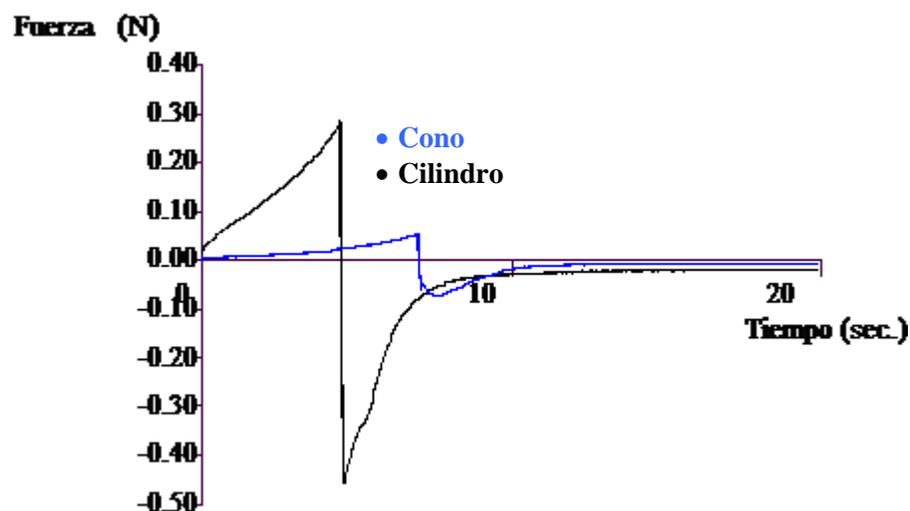


Figura 37: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la cajeta de marca económica.

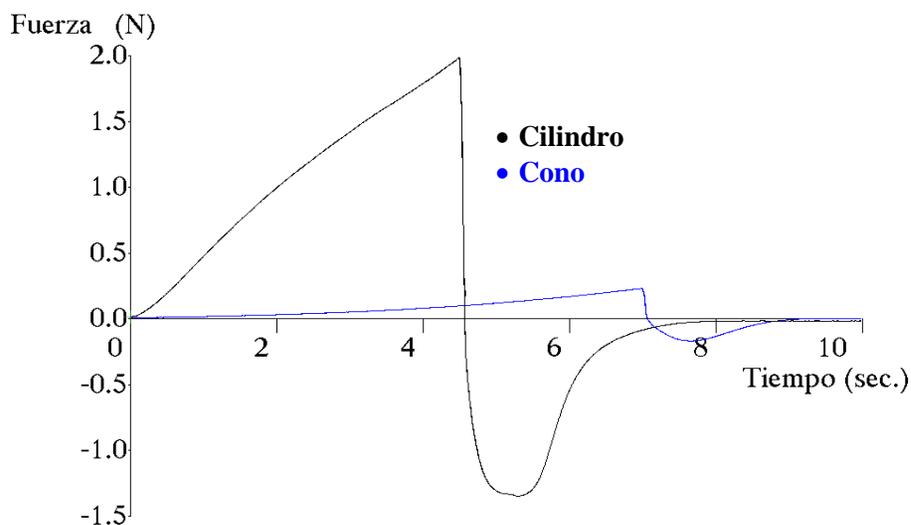


Figura 38: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la crema de cacahuate regular.

Tabla 33: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuate regular.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.56 ^a	1.98 ^a	4.70 ^a	-1.36 ^a	-0.76 ^a	-1.12 ^a	-1.87 ^a	32.52 ^a	44.19 ^a
Cono	0.02 ^b	0.23 ^b	0.55 ^b	-0.17 ^b	-0.07 ^b	-0.12 ^b	-0.19 ^b	166.48 ^b	29.10 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

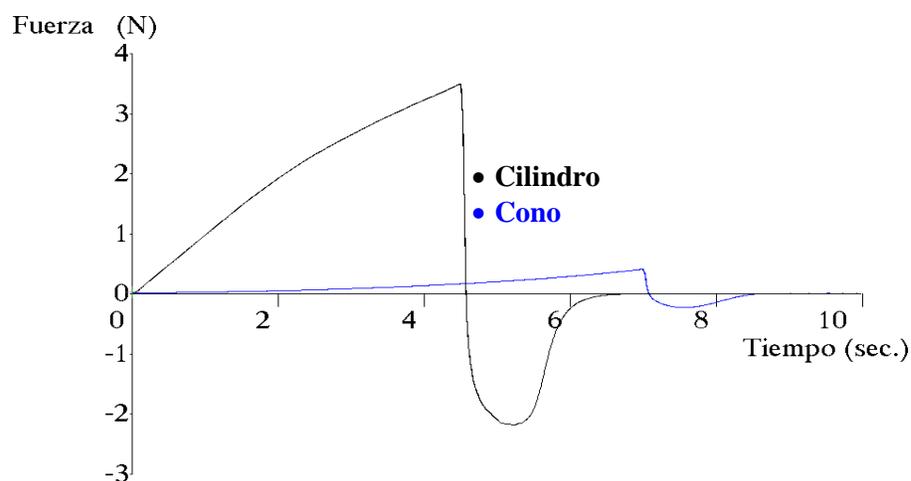


Figura 39: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la crema de cacahuete baja en azúcares.

Tabla 34: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja en azúcar.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	1.00 ^a	3.49 ^a	8.86 ^a	-2.21 ^a	-1.06 ^a	-1.26 ^a	-2.32 ^a	17.68 ^a	39.14 ^a
Cono	0.02 ^b	0.40 ^b	0.94 ^b	-0.24 ^b	-0.09 ^b	-0.13 ^b	-0.21 ^b	98.02 ^b	23.18 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

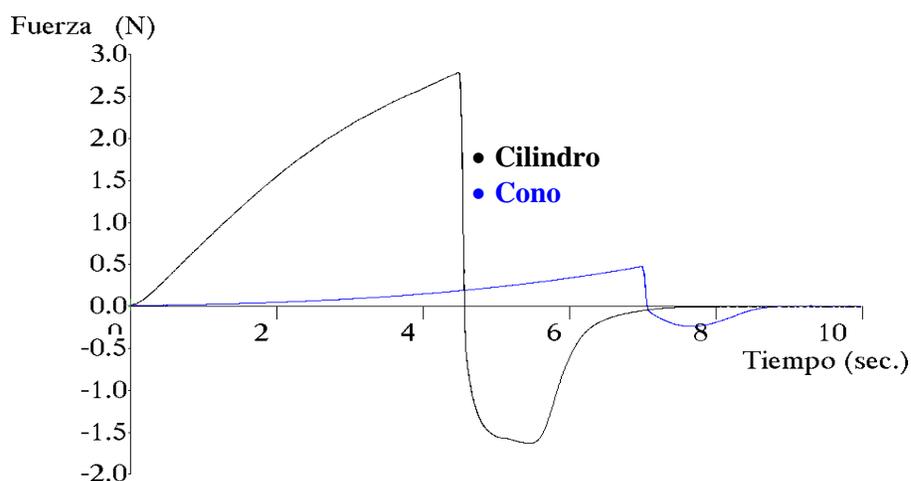


Figura 40: Gráfico comparativo entre las geometrías de un mismo material para la crema de cacahuete de marca económica.

En el caso de las cremas de cacahuete se puede observar que para la regular (Figura 38 y Tabla 33) existe un claro predominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo, generando una falla cohesivo-adhesiva con una mayor influencia cohesiva, para el caso de la crema de cacahuete reducida en azúcar (Figura 39 y Tabla 34), sucede que aunque existe un mayor dominio del trabajo cohesivo sobre el adhesivo no es tan marcada como en la regular, por lo que la falla cohesivo-adhesiva es casi equilibrada y finalmente en el caso de la crema de cacahuete de marca económica (Figura 40 y Tabla 35) es mayor el trabajo adhesivo que el cohesivo generando una falla adhesivo-cohesiva con predominancia adhesiva. La crema de cacahuete más dura y más adhesiva fue la baja en azúcar, mientras que la más untable fue la regular.

Tabla 35: Efecto del dispositivo sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete baja económica.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
Cilindro	0.86 ^a	2.78 ^a	7.09 ^a	-1.66 ^a	-1.14 ^a	-1.01 ^a	-2.14 ^a	26.37 ^a	43.80 ^a
Cono	0.02 ^b	0.47 ^b	1.07 ^b	-0.25 ^b	-0.11 ^b	-0.14 ^b	-0.25 ^b	98.07 ^b	24.24 ^b

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

3.2.3. Efecto de la velocidad de penetración en la prueba por penetración

Lo que se puede notar en las tablas y gráficas referentes a la prueba de penetración realizada a diversas velocidades (0.5 mm/s, 2 mm/s y 5 mm/s) para los diferentes tipos de mayonesa es que al aumentar la velocidad de penetración los materiales se perciben más sólidos lo que se traduce en una mayor dureza. En cuanto al trabajo de penetración al penetrar más lentamente, el dispositivo está más tiempo en contacto con el material, por lo que el área es mayor. En lo que respecta a la fuerza adhesiva y a la adhesividad los valores más altos para la mayonesa regular (Figura 41 y Tabla 36) se encuentran a una velocidad de 0.5mm/s y ambos tienen diferencia significativa con respecto a las otras velocidades para este parámetro. Estos mismos parámetros pero para la mayonesa baja en lípidos (Figura 42 y Tabla 37) tienen sus datos más altos en la velocidad de 2 mm/s, únicamente que en la fuerza adhesiva sí hay una diferencia significativa con respecto a las otras 2 velocidades pero en la adhesividad aunque tienen diferencia con la velocidad de 5 mm/s (aunque con un menor valor) no es así para la de 0.5 mm/s. Finalmente en la mayonesa de marca económica (Figura 43 y Tabla 38) la mayor fuerza

adhesiva se obtiene aplicando una velocidad de 0.5 mm/s aunque no existe diferencia significativa con respecto a las otras dos velocidades usadas, mientras que para la adhesividad su valor más alto también se obtiene con una velocidad de 0.5mm/s pero aquí sí existe una diferencia significativa entre ésta con respecto a las otras 2. El cambio en las velocidades de penetración no parece afectar significativamente la detección de los datos del trabajo cohesivo y adhesivo en las mayonesas, pues con las tres velocidades se obtienen valores muy semejantes entre sí.

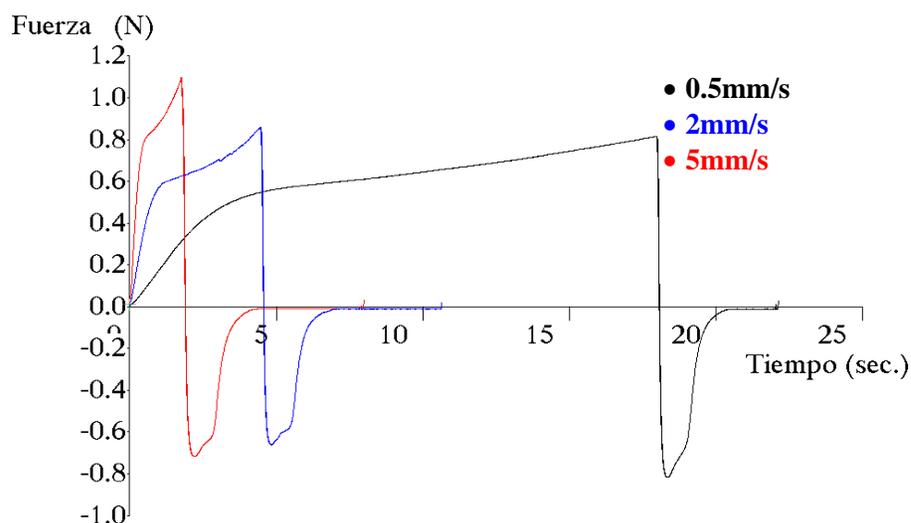


Figura 41: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa regular.

Tabla 36: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa regular usando un cilindro de acrílico de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.22 ^a	0.81 ^a	10.59 ^a	-0.82 ^b	-0.19 ^a	-0.73 ^a	-0.91 ^a	35.13 ^a	28.96 ^a
2	0.87 ^b	0.87 ^a	2.82 ^b	-0.68 ^a	-0.14 ^a	-0.63 ^b	-0.77 ^b	49.87 ^b	33.89 ^b
5	2.50 ^c	1.09 ^b	1.39 ^c	-0.73 ^a	-0.15 ^a	-0.70 ^{ab}	-0.84 ^c	55.72 ^c	40.64 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

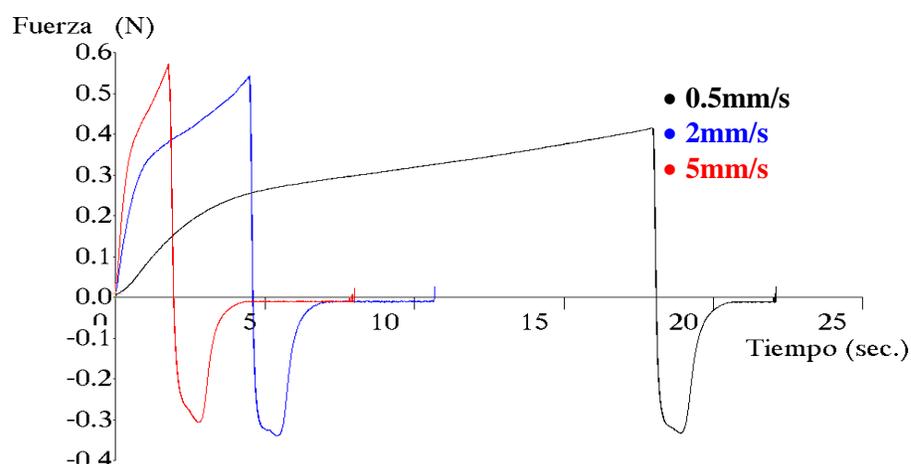


Figura 42: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa baja en lípidos.

Tabla 37: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa baja en lípidos usando un cilindro de acrílico de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.09 ^a	0.41 ^b	5.17 ^a	-0.33 ^a	-0.24 ^a	-0.19 ^a	-0.42 ^a	86.04 ^a	28.81 ^a
2	0.50 ^b	0.55 ^a	1.73 ^b	-0.35 ^b	-0.24 ^a	-0.20 ^a	-0.44 ^a	107.25 ^b	37.48 ^b
5	1.01 ^c	0.57 ^a	0.69 ^c	-0.31 ^a	-0.20 ^b	-0.17 ^a	-0.37 ^b	130.25 ^c	40.25 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 38: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la mayonesa económica usando un cilindro de acrílico de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.09 ^a	0.40 ^a	4.73 ^a	-0.31 ^a	-0.20 ^a	-0.20 ^b	-0.41 ^b	108.89 ^a	33.87 ^a
2	0.37 ^b	0.48 ^b	1.42 ^b	-0.29 ^a	-0.20 ^a	-0.18 ^a	-0.39 ^a	121.29 ^b	36.28 ^b
5	0.99 ^c	0.55 ^c	0.63 ^c	-0.29 ^a	-0.20 ^a	-0.18 ^a	-0.39 ^a	152.57 ^c	45.37 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Como se puede notar en las figuras y tablas referentes al efecto de la velocidad para la prueba de penetración realizada a las cajetas, al igual que en las mayonesas, al aumentar la velocidad también aumenta la untabilidad y la dureza y disminuye el trabajo de penetración; la mayor

fuerza adhesiva, tanto para la cajeta regular (Figura 44 y Tabla 39) como en la baja en azúcares (Figura 45 y Tabla 40), se encuentra a una velocidad de 0.5 mm/s siendo significativamente diferente con respecto a la velocidad de 5 mm/s, mientras que la cajeta de marca económica (Figura 46 y Tabla 41) presentó el valor más alto de fuerza adhesiva a una velocidad de 5 mm/s y tiene diferencia significativa con respecto a las otras dos velocidades manejadas en este proyecto. En lo que respecta a la adhesividad el mayor valor se obtuvo a una velocidad de 0.5 mm/s para la cajeta regular y para la baja en azúcares, sólo que en el primer tipo de cajeta hubo una diferencia significativa con respecto a la velocidad de 5 mm/s pero no con respecto a la de 2 mm/s, caso contrario a lo ocurrido con la cajeta baja en azúcares. Finalmente la cajeta de marca económica alcanzó el mayor valor de adhesividad a una velocidad de 5 mm/s, habiendo diferencia significativa entre las 3 velocidades utilizadas.

Tabla 39: *Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta regular usando un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.01 ^a	0.22 ^a	1.93 ^a	-1.22 ^a	-0.06 ^a	-1.65 ^a	-1.70 ^a	98.25 ^a	119.54 ^a
2	0.07 ^b	0.54 ^b	1.14 ^b	-1.12 ^{ab}	-0.06 ^a	-1.64 ^a	-1.69 ^a	119.73 ^b	134.46 ^b
5	0.32 ^c	1.00 ^c	0.84 ^c	-1.06 ^b	-0.05 ^a	-1.39 ^b	-1.44 ^b	76.57 ^c	81.15 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

Tabla 40: *Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta baja en azúcar usando un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.02 ^a	0.33 ^a	3.09 ^a	-0.84 ^a	-0.15 ^a	-1.64 ^a	-1.78 ^a	154.26 ^a	129.46 ^a
2	0.11 ^b	0.62 ^b	1.39 ^b	-0.72 ^b	-0.13 ^a	-1.44 ^b	-1.56 ^b	187.15 ^b	134.36 ^b
5	0.53 ^c	1.23 ^c	1.07 ^c	-0.81 ^{ab}	-0.12 ^a	-1.65 ^a	-1.77 ^a	137.59 ^a	111.03 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

En lo que respecta al trabajo cohesivo y al trabajo adhesivo no se encuentran diferencias significativas entre usar una velocidad de 0.5mm/s o de 5mm/s ya que detectan valores

semejantes, sin embargo al utilizar una velocidad de 2 mm/s si hay diferencias sólo que se obtienen valores menores a los que se lograrían con las otra velocidades.

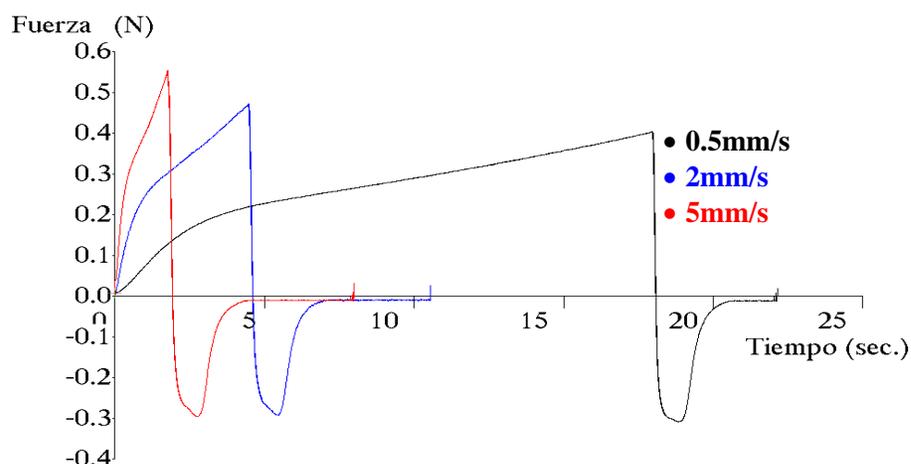


Figura 43: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la mayonesa de marca económica.

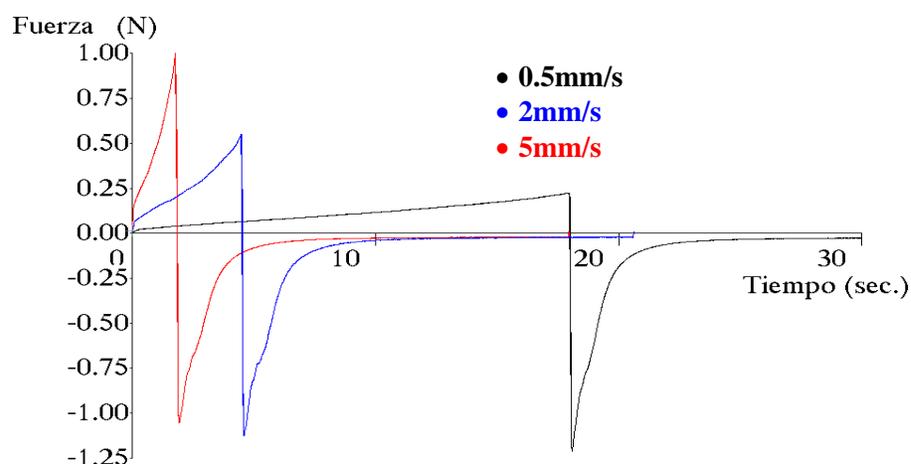


Figura 44: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta regular.

Tabla 41: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la cajeta económica usando un cilindro de acrílico de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.01 ^a	0.134 ^a	1.28 ^a	-0.45 ^a	-0.02 ^a	-0.78 ^a	-0.80 ^a	198.29 ^a	89.54 ^a
2	0.04 ^b	0.24 ^b	0.51 ^b	-0.34 ^b	-0.01 ^b	-0.69 ^b	-0.69 ^b	338.35 ^b	114.47 ^b
5	0.19 ^c	0.53 ^c	0.45 ^c	-0.47 ^a	-0.02 ^a	-0.79 ^a	-0.82 ^c	194.78 ^a	91.17 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

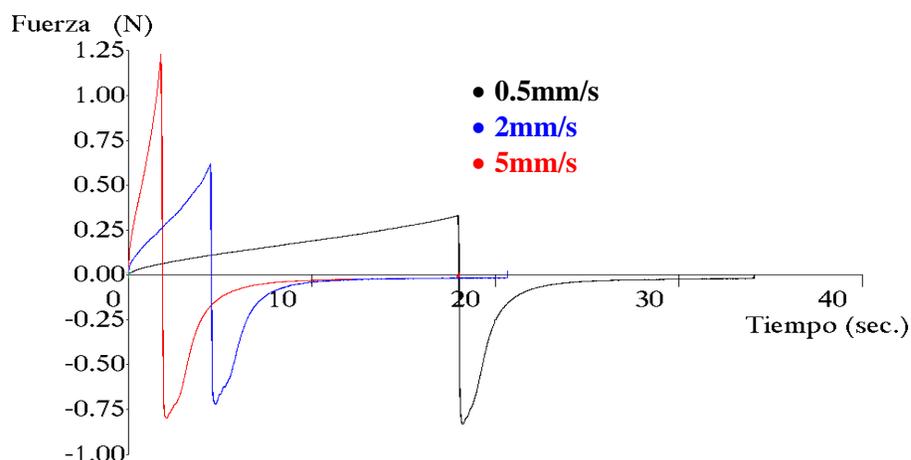


Figura 45: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta baja en azúcares.

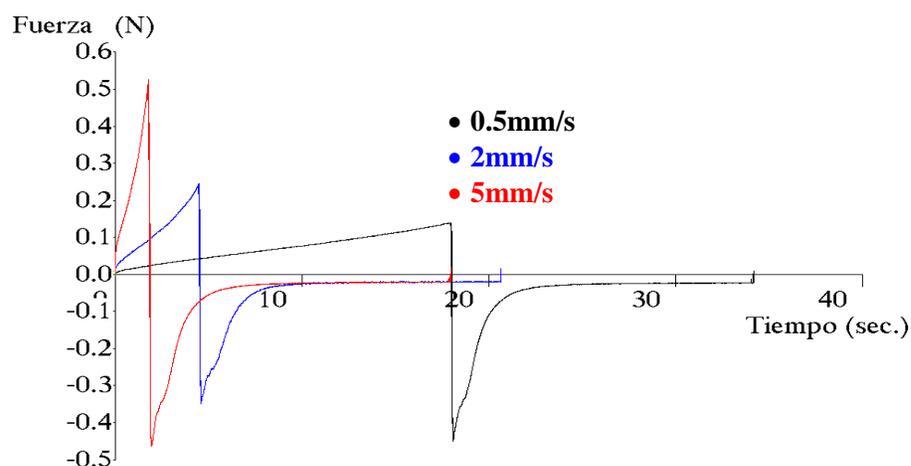


Figura 46: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la cajeta de marca económica.

En el caso de las cremas de cacahuete lo que podemos observar, para los tres tipos de cremas, en lo que respecta al trabajo de penetración, es lo mismo que lo que notamos para las mayonesas y las cajetas, que cuando la velocidad aumenta el trabajo de penetración disminuye; pero con la dureza ya no sucede lo mismo más que para el caso de la crema de cacahuete regular (Figura 47 y Tabla 42), ya que en los otros dos tipos lo que sucede es que cuando aumenta la velocidad primero la dureza disminuye y después aumenta, y aunque en la crema de cacahuete de marca económica (Figura 49 y Tabla 44) no existe una diferencia significativa entre los valores obtenidos para este parámetro con una velocidad de 2 mm/s y de 5mm/s, para la crema de cacahuete baja en azúcares (Figura 48 y Tabla 43) sí la hay, esto probablemente se deba a la composición del alimento pues mientras la crema de cacahuete regular no presentaba ninguna partícula lo suficientemente grande como para poder ser

visualizada a simple vista, la crema de cacahuate baja en azúcares si tenía partículas demasiado grandes que pudieron haber alterado los resultados al momento de sentir la fuerza con la que el dispositivo estaba penetrando pues las partículas pudieron irse comprimiendo generando alti-bajos en los valores de dureza y además cambiar la percepción de cohesividad o alterar la cohesividad.

Tabla 42: *Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuate regular usando un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.13 ^a	1.79 ^a	17.82 ^a	-1.72 ^a	-0.86 ^a	-1.56 ^a	-2.41 ^a	28.65 ^b	49.27 ^a
2	0.75 ^a	2.42 ^a	6.05 ^b	-1.64 ^a	-1.09 ^a	-1.29 ^a	-2.37 ^a	23.93 ^a	39.20 ^b
5	2.86 ^b	3.56 ^b	3.42 ^c	-1.88 ^a	-0.93 ^a	-1.75 ^a	-2.67 ^a	21.71 ^a	40.90 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

En el caso de la crema de cacahuate de marca económica aún y cuando no tenía partículas muy grandes su textura sí se sentía un poco más granulosa que la crema de cacahuate regular, lo que pudo afectar, de la misma manera que la baja en azúcares, un poco los resultados obtenidos pero a menor escala pues el tamaño de partícula era más pequeño.

En lo que se refiere a los parámetros de fuerza adhesiva y adhesividad, los valores mayores se obtuvieron, para la crema de cacahuate baja en azúcares y de marca económica, a una velocidad de 0.5 mm/s y para el caso de la crema de cacahuate regular a una velocidad de 5mm/s.

Tabla 43: *Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuate baja en azúcar usando un cilindro de acrílico de 1in.*

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.50 ^a	5.80 ^a	64.39 ^b	-4.41 ^b	-1.30 ^b	-3.39 ^b	-4.68 ^b	6.62 ^a	29.20 ^a
2	0.49 ^a	1.88 ^b	4.14 ^a	-1.22 ^a	-0.76 ^a	-0.98 ^a	-1.74 ^a	32.10 ^b	39.14 ^b
5	1.77 ^b	2.35 ^c	2.18 ^a	-1.32 ^a	-0.88 ^a	-0.83 ^a	-1.70 ^a	24.77 ^c	32.83 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

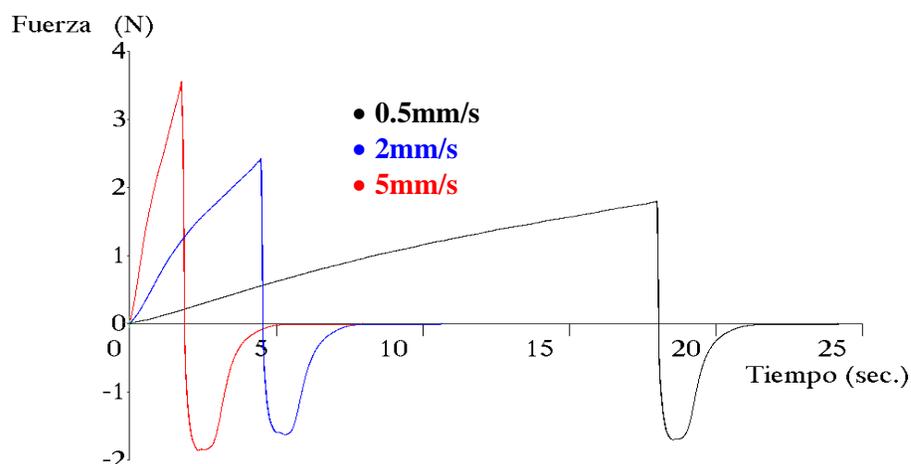


Figura 47: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete regular.

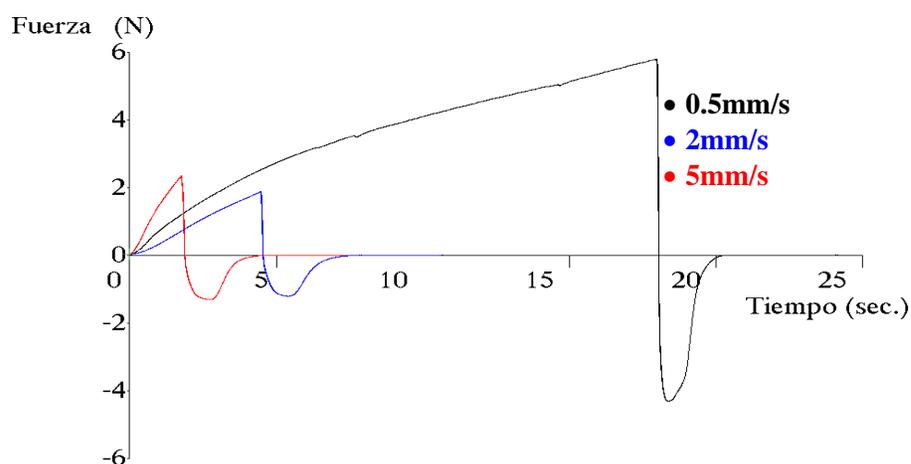


Figura 48: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete baja en azúcares.

Tabla 44: Efecto de la velocidad sobre los parámetros texturales en la prueba de penetración para la crema de cacahuete económica usando un cilindro de acrílico de 1in.

Tipo	Resistencia inicial a la penetración N/s	Dureza N	Trabajo de Penetración N.s	Fuerza Adhesiva N	Trabajo Adhesivo N.s	Trabajo Cohesivo N.s	Adhesividad N.s	Untabilidad mm/N	Estiramiento mm
0.5	0.30 ^a	4.05 ^a	38.92 ^b	-2.89 ^a	-2.28 ^a	-1.55 ^a	-3.81 ^b	13.57 ^a	39.27 ^a
2	1.03 ^b	3.41 ^a	8.56 ^a	-2.04 ^b	-1.64 ^b	-1.15 ^b	-2.78 ^a	21.63 ^b	44.23 ^b
5	4.85 ^c	5.75 ^b	5.85 ^a	-2.80 ^a	-2.23 ^a	-0.79 ^c	-3.00 ^a	9.24 ^c	25.91 ^c

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

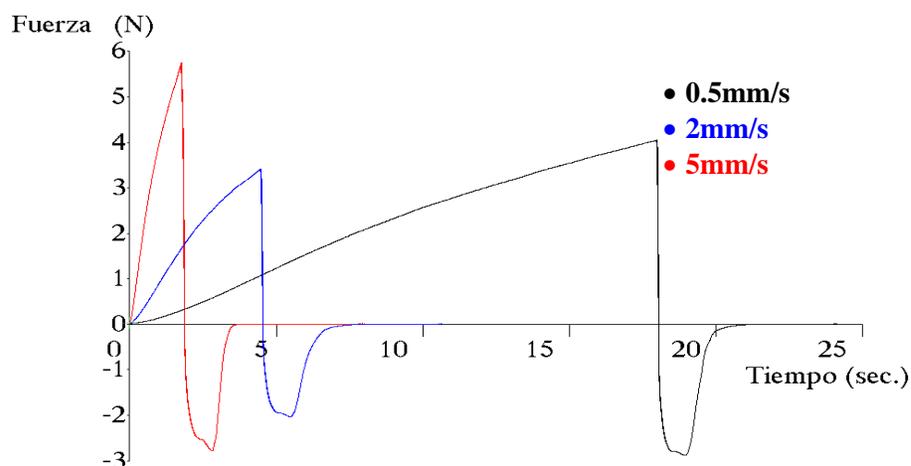


Figura 49: Gráfico comparativo entre las velocidades estudiadas usando como dispositivo un cilindro de acrílico de 1in para la crema de cacahuete de marca económica.

En cuanto al trabajo cohesivo y adhesivo para la crema de cacahuete regular aunque existe un claro predominio del cohesivo sobre el adhesivo con todas las velocidades donde se puede apreciar mejor es a una velocidad de 5 mm/s, mientras que para la crema de cacahuete baja en azúcares donde se puede ver mejor esta influencia es a una velocidad de 0.5 mm/s, y para la crema de cacahuete de marca económica lo que existe es una mayor influencia del trabajo adhesivo sobre el cohesivo en todas las velocidades pero donde se puede apreciar mejor es con una velocidad de 5 mm/s.

El estiramiento tiene una clara relación con el cociente cohesión/adhesión; este parámetro fue notablemente mayor en las cajetas (entre 80-130 mm, a las diferentes velocidades) que fue el material con el mayor estiramiento. En mayonesas y cremas de cacahuete, con cociente cohesión/adhesión similares y mucho más bajos que los de las cajetas, el estiramiento es también menor y similar. El modo en que el estiramiento varía con la velocidad de penetración es diferente en cada material, mientras que en las mayonesas aumenta al incrementarse la velocidad, en cajetas presenta el valor máximo a la velocidad intermedia y en las cremas de cacahuete los patrones de cambio varían. Esto puede atribuirse a la cantidad de muestra adherida al dispositivo en cada caso y estar a su vez relacionado con la interacción material-dispositivo.

Lo que podemos concluir de la prueba de velocidades es que en general para los 3 productos se obtiene una mejor diferenciación de los parámetros texturales a bajas velocidades.

4. Conclusiones y recomendaciones

Como se demostró durante la experimentación, el contenido de lípidos y/o azúcares, la estabilidad y homogeneidad de los sistemas afecta significativamente las características de los alimentos, ya que una reducción o modificación en ellos deriva en cambios apreciables instrumental y sensorialmente que pueden resultar no ser tan agradables al consumidor (la cajeta de marca económica presentaba cristales, la crema de cacahuete baja en azúcares tenía partículas grandes a simple vista y en la crema de cacahuete de marca económica se podía distinguir una ligera capa de aceite).

Hallar la prueba que diferencie mejor la calidad textural de cada producto es importante para desarrollar nuevos productos en los cuales se modifica la formulación por cantidad y tipo de ingredientes, ya que es relevante ver el efecto plenamente y tener una idea de cómo lo va a percibir el consumidor, por lo que éstos deben emular las características del original. Por lo que la prueba que mejor diferenciaba a cada producto estudiado en el presente proyecto fue la prueba de penetración y retirada.

Algo que se pudo observar en la prueba con diversos materiales es que el uso de un material específico del dispositivo de penetración depende mucho del alimento que se esté utilizando pues en función de su composición química reaccionará de diferente manera con el material en estudio. Se notó que alimentos altamente lipídicos se adherían mejor al acero inoxidable que al aluminio o al acrílico y que alimentos con gran contenido de azúcares se fijaban mejor al acrílico.

Algo interesante que se encontró fue que, con algunos productos, estadísticamente, no había diferencia entre usar acrílico y acero inoxidable pero sí la había con el aluminio, a pesar de que estos dos últimos se encuentran en el grupo de los metales.

En lo que respecta a la geometría, definitivamente la que proporcionaba una mayor diferenciación entre los parámetros estudiados era el cilindro de 1in debido al área de contacto que tenía con la muestra, y finalmente en lo que respecta a las velocidades de prueba, con velocidades más pequeñas se detectaban fuerzas mayores y por lo tanto se apreciaban mejor las diferencias entre los parámetros texturales.

Debido a lo anteriormente mencionado las condiciones de prueba que permitieron una adecuada diferenciación de los grados de calidad textural de cada producto fueron: La geometría de cilindro, utilizando bajas velocidades (0.5 mm/s) y el material dependerá del alimento a evaluar.

Se recomienda estudiar el efecto de la temperatura sobre las pruebas establecidas y hacer pruebas dinámicas de cizalla oscilatoria para comparar el comportamiento viscoelástico de las muestras estudiadas con los resultados obtenidos y así poder ampliar un poco más y complementar la información adquirida.

Referencias Bibliográficas

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., Troung, V., (2001). Stickiness in foods: A review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, 4 (1), 1-33.

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., Truong, V., (2002). In situ characterization of stickiness of sugar-rich foods using a linear actuator driven stickiness testing device. *Journal of Food Engineering*, 58, 11-22.

Allen, K. E., Dickson, E., Murray, B. (2006). Acidified sodium caseinate emulsion foams containing liquid fat: a comparison with whipped cream. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie – Food Science and Technology*, 39 (3), 225-234

Arboleya, J. C., Ridout, M. J., Wilde P.J. (2009). Rheological behavior of aerated palm kernel oil/water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23, 1358-1365.

Atkins, A.G. (1987). The basis principles of mechanical failure in biological systems. In *Food Structure and Behavior*, Blanshard, J.M.V., Lillford, P.J., eds, 149-176.

Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. (1997). A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15 (10), 2509-2525.

Bhandari, B.R., Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of foods. *Journal of Food Engineering*, 40 (1-2), 71-79.

Boyd, J. V., Sherman, P. (1975). The mechanics of stickiness evaluation in foods. A comparison of oral and instrumental methods of evaluation in selected foods. *Biorheology*, 12, 317-322.

Brennan, J. G., Mohamed, A.M.A. (1984). Relating sensory stickiness and physical properties of foods. In *Engineering and Food, Vol. I, Engineering Sciences in the Food Industry*. B.M. McKenna, ed. Elsevier, London.

Caldwell, R. C. (1959). A method of measuring the adhesion of foodstuffs to tooth surfaces. *Journal of Dental Research*. 38, 188-196.

Casas Alencáster N.B., Ramírez Ortiz Ma. E. (2001). Reología y textura de materiales biológicos. En *Apuntes del seminario de titulación para carrera de ingeniería en alimentos, Módulo I, Propiedades Texturales*. Departamento de Ingeniería y Tecnología.

Chen, W. Z., Hosney, R. C. (1995). Development of an objective method for dough stickiness. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 28(5), 467-473.

Claassens, S.W. (1959). The adhesion-cohesion, static friction and macrostructure of certain butters. II. Factors affecting the values recorded with thehesion balances. *South African Journal of Agricultural Science* 2, 89-118.

- Dalgleish, D. G., (2006). Food emulsions – their structures and structure forming properties. *Food Hydrocolloids*, 20, 415-422.
- Dahlquist, C.A. (1959). An investigation into the nature of tack. *Adhesives Age* 2, 25-29.
- Dahlquist, C.A. (1989). Creep. In *Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology*, (D. Satas, ed.) Chapman y Hall, New York.
- Dickinson, E. (1992), *Introduction to Food Colloids*, Oxford University Press, Oxford.
- Dobraszczyk, B.J. (1997). The rheological basis of dough stickiness. *Journal of Texture Studies* 28, 139-162.
- Downton, G.E., Flores-Luna, J.L., King, C.J. (1982). Mechanisms of stickiness in hygroscopic, amorphous Powders. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 21 (4), 447-451.
- Drewnowski, A. (1987). Fats and food texture. Sensory and hedonic evaluations. In *Food Texture, Instrumentation and Sensory Measurement*, ed. H.R. Moskowitz. Marcel Dekker, New York, pp, 251-72.
- Drewnowski, A., Halmi, K. A., Pierce, B., Gibbs, J., Smith, G. P. (1987). Taste and eating disorders. *American Journal of Clinical Nutrition*, 46, 442-450.
- Drewnowski, A., Schwartz, M. (1990). Invisible Fats: Sensory assessment of sugar/fat mixtures. Program in Human Nutrition, School of Public Health, University of Michigan, 14, 203-217.
- De Bruijne, D. K., Bot, A. (2001). Alimentos elaborados basados en grasa. En *Textura de los alimentos. Medida y Percepción*, ed Acribia Zaragoza España. Capitulo 7. pp. 181-219.
- deMan, J. M., deMan, L., Postmus, E. (1990). Textural and physical properties of north american stick margarines. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 67, 323-328.
- Flink, J.M. (1983). Structure and structure transitions in dried carbohydrate materials. In *Physical Properties of Foods*, Peleg, M., Bagley, E.B., eds., AVI: Westport: CT, 473-521.
- Fox, T.G., Flory, P.J. (1950). Second order transition temperatures and related properties of polystyrene. *Journal of Applied Physics*, 21, 581-591.
- Friberg, S.E. (1997). Emulsion stability. In *Food Emulsions*, 3rd Edition, Friberg, S. E. and Larsson, K. eds., Marcel Dekker, New York, pp 1-56.
- Griffith, E.J. (1991). Cake formation in particulate systems; VCH Publishers, Inc.: D-6940 Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Hammond, J. R., F. H. (1989). Tack. In *Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology* (D. Satas, ed.) Chapman y Hall, New York, 38-60.

Haumann, B. F. (1986). Getting the fat out. Researchers seek substitutes for full-fat fat. *Journal of American Oil Chemistis' Society*, 63, 278-88.

Heddleson, S.S., Hamann, D.D., Lineback, D.R. (1993). The Dahiquist criterion: applicability of rheological criterion to the loss of pressure-sensitive tack in flour water dough. *Cereal Chemistry*. 70, 744-748.

Heddleson, S.S., Hamann, D.D. Lineback, D.R., Slade, L. (1994). Pressure-sensitive adhesive properties of wheat flour dough and the influence of temperature, separation rate an moisture content. *Cereal Chemistry*. 71, 564-570.

Holm, K., Wendin, K., Hermansson A. (2009). Sweetness and texture perceptions in structured gelatin gels with embedded sugar rich domains. *Food Hydrocolloids*, 23, 2388-2393.

Hoseney, R. C., Smewing, J. (1999). Instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods. *Journal of Texture Studies*, 30, 123-136.

Imeson, A. (1997), *Thickening and Gelling Agents for Food*, 2nd Edition, Blackie Academic & Professional, London.

Jowitt, R. (1974). The terminology of food texture. *Journal of Texture Studies* 5, 351-358.

Kambe, H. y Kamagata, K. (1969). A method of measuring tackiness. *Journal of Applied Polymer Science*, 13, 493-504.

Kelly, F.H.C., Mark, F.K., Shah, D. (1974). Some hygroscopic properties of refined sugar. *International Sugar Journal*, 76 (912), 361-363.

Kilcast D., Roberts C. (1997). Perception and measurement of stickiness in sugar-rich foods. *Journal of Texture Studies* 29, 81-100.

Kokini, J.L. (1987). The physical basis of liquid food texture and testure-taste interactions. *Journal of Food Engineering* ., 6, 51-81.

Lai, C. C. (1987). Sticky problems in food packaging. In *Food Product-Packaging Compatibility* (J. I. Gray, ed.) Conference, Michigan State University, July 1986, pp. 258-269, Technomic Publishing Company. Lancaster, PA.

Lazar, W.E., Brown, A.H., Smith, G.S., Wong F.F., Lindquist F.E. (1956). Experimental production of tomato powder by spray drying. *Food Technology*., 129-134.

Liu, H., Xu, X.M., Guo, Sh. D. (2006), Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with diferente fat mimetics. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Tecnologie – Food Science and Technology*, 40, 946-954.

Lynch, M., Griffin W. (1974). Food Emulsions. In *Emulsions and Emulsion Technology*, Vol. 6 (K J. Lissant, ed.)Marcel Dekker, INC. New York and Basel. Chapter 5.

- Marshall, R.J. (1990a). Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50, 237-52
- Marshall, R.J. (1990b). Combined instrumental and sensory measurement of the role of fat in food texture. *Food Quality and Preference*, 2, 117-124.
- McClements, D.J. (1999), *Food emulsions: principles, practice and techniques*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Muego, K.F., Resurreccion, A. V. A., Hung, Y. C. (1989), Characterization of the textural properties of spreadable peanut based products. *Journal of Texture Studies*, 21, 61-73.
- Navarro, A. S., Ferrero, C., Zaritzky, N E., (1999), Rheological characterization of “dulce de leche” by dynamic and steady shear measurements. *Journal of Texture Studies* 30, 43-58.
- Nisshin Seito, K.K. (1981) Japanese Patent 5, 646,760.
- Ondarcuhu, T. (1997). Tack of polymer melt: adhesion measurements and fracture profile observations. *Journal of Physics II. France*, 7 (12), 1893-1916.
- Pasley, H, Haloulos, P. (1994). A Comparison of test methods and characterization parameters. In *Drying '94*, Rudolph, V., Keey, R.B., Mujumdar, A.S., eds., 165-172.
- Peleg, M. (1993). Glass transition and physical stability of food powders. In *Glassy State in Foods*, Blanshard, J.M.V., Lillford, P.J., eds.; Nottingham University Press: England, 18-48.
- Roos, Y., Karel, M. (1993). Effects of glass transitions on dynamic phenomena in sugar containing food systems. In *Glassy States in Foods*; Blanshard, J.M.V., Lillford, P.J., eds, Nottingham University Press: England, 207-222.
- Rumpf, H. (1962). The strenght of granules and agglomerates. In *Agglomeration*. Knepper, W., ed., 379-418).
- Saunders, S. R., Hamann, D. D. and Lineback. D. R. (1992). A systems approach to food material adhesion. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Tecnologie – Food Science and Technology*, 25, 309-315.
- Schubert, H. (1987). Food particle Technology. Part I: Properties of Particles and Particulate Food Systems. *Journal of Food Engineering*, 6, 1-32.
- Sherman, P. (1977). Sensory properties of foods which flow. In *Sensory Properties of Foods*, ed. G. C. Birch, J.G. Brennan and K. J. Parker. Applied Science Publishers, London, pp. 303-16.
- Slade, L., Levine, H. (1991). Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30 (2-3), 115-360.

Stauffer, C. E. (1999), *Emulsifiers*, Eagen Press Handbook, St.Paul, MN.

Surface Energy and Wetting (2010). Adhesives.org home page. The Adhesive and Sealant Council.Inc. Disponible en www.adhesives.org. Consultado el 7 de Marzo del 2010.

Surface Energy (Surface Wetting Capability) (2010).NDE/NDT Resource Center. Brian Larson, Editor, 2001-2010. Disponible en www.ndt-ed.org. Consultado el 7 de Marzo del 2010.

Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*. 28 (4), 385-389.

Teunou, E., Fitzpatrick, J.J., Synnott, E.C. (1999). Characterization of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39, 31-37.

Tsourouflis, S., Flink, J.M., Karel, M. (1976). Loss of structure in freeze dried carbohydrate solutions. Effect of temperature, moisture contents and composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 27, (6), 509-519.

Wallack, D.A., King, C.J. (1988). Sticking and agglomeration of hygroscopic, amorphous carbohydrate and food powders. *Biotechnology Progress*, 4 (1), 31-35.

Walton, D.E., Mumford, C.J. (1999). Spray dried products-characterization of particle morphology. *Chemical Engineering Research and Design*, 77 (A1), 21-38.

Walstra, P. (1996), Emulsion stability. In *Encyclopedia of Emulsion Technology*, Vol. 4, Becher, P. ed., Marcel Dekker, New York, Chapter 1.

Walstra, P. and Smulders, P.E.A. (1998), Emulsion formation. In *Modern Aspects of Emulsion Science*, Binks, B.P. ed., Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp 56-99.

Wang, S.M., Watts, B.M., Lukow, O.M., Schlichting, L. and Bushuk, W. (1996). Dough profiling: an instrumental method for dough stickiness measurement. *Cereal Chemistry*. 73, 445-451.

Watt, B.K. y Merrill, A. L. (1975). Nutritional composition of foods. USDA Handbook, No. 8. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Wicking Properties-Surface Energy Cohesive Forces. Porous Plastic Solutions through Material Science. Porex Corporation. Consultado el 7 de Marzo del 2010. Disponible en www.adhesives.org.

Wijk, R. A., Van Gemert, L.J., Terpstra M. E. J., Wilkinson C. L. (2003). Texture of semi-solids; sensory and instrumental measurements on vanilla custard desserts. *Food Quality and Preference*, 14, 305-317.

Zosel, A. (1985). Adhesion and tack of polymers: influence of mechanical properties and surface tensions. *Colloid and Polymer Science*, 263, 541-553.