

10529  
11



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

Departamento de  
Estudios Profesionales

**REOLOGIA Y TEXTURA DE MATERIALES BIOLÓGICOS:  
PROPIEDADES DE FLUJO Y ADHESIVAS DE ALIMENTOS  
FLUIDOS Y SOLUCIONES DE HIDROCOLOIDES"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

P R E S E N T A :

**CLAUDIA GARCIA GONZALEZ**

**ASESOR: IBQ. NORMA BEATRIZ CASAS ALENCASER.**



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.

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



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

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

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Reología y Textura de materiales biológicos:  
Propiedades de flujo y adhesivas de alimentos fluidos y soluciones  
de hidrocoloides.

que presenta la pasante: Claudia García González  
 con número de cuenta: 9006653-9 para obtener el título de :  
Ingeniera en Alimentos.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 31 de Marzo de 2003

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>IBO. Norma B. Casas Alencáster</u>	<u>[Firma]</u>
<u>I</u>	<u>I.A. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Dra. Laura Patricia Martínez Padilla</u>	<u>[Firma]</u>

2

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida.

Gracias papá, por protegerme, quererme y consentirme tanto. Con tu apoyo, guía y amor he logrado culminar este proyecto con el cual espero te sientas muy orgulloso de mí ¡Te quiero muchísimo!

Gracias mami por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento. Te quiero.

A mis hermanos por que ellos han sido el mejor ejemplo a seguir en mi vida.

A ti Roberto por que llegaste a completar la felicidad de mi vida. Te amo.

A mi asesora Norma Casas por su tiempo, apoyo, comprensión y paciencia para concluir este trabajo. Gracias de todo corazón.

A mis profesores del Seminario: Dra. Paty, Dr. Tecante, Maru y Vicky.

A mi mejor amiga Lucy, por que durante toda la carrera y también en el seminario compartió conmigo desveladas, estudios, fiestas, etapas de felicidad, etapas de tristeza demostrándome siempre su grandiosa amistad.

A mis amigos que quiero tanto: Mariam, Juan de Dios y Víctor, ustedes son el mejor regalo que la vida me pudo dar no tengo palabras para agradecerles lo magnifico que son conmigo, los quiero con toda el alma.

A mis amigos de la Universidad: Anabel, Román M., Román R., Abraham y Héctor por todos los equipos de estudio que formamos en los cuales compartimos tanta diversión.

## RESUMEN

Se realizó un estudio de las propiedades adhesivas y reológicas (cizalla estacionaria) en fluidos alimenticios comerciales: jarabe de maíz, jarabe de chocolate, leche condensada azucarada y cajeta; soluciones de gomas: Carboximetilcelulosa (CMC) al 0.8 %; Xantana al 0.8 % en una solución 0.5 N de NaCl (XaNa); y suspensiones con almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) al 4.5 % y una combinación de almidón de maíz ceroso entrecruzado al 4 % con CMC al 0.25 % (AMCE-CMC). Las propiedades adhesivas se obtuvieron por medio de una prueba específica de adhesividad utilizando un texturómetro TAXT2 y las reológicas con un viscosímetro Physica MC1 y un reómetro Physica MC100. Todas las pruebas se efectuaron a temperatura ambiente (25 °C). De todos los materiales en estudio la cajeta y la CMC presentaron la mayor fuerza adhesiva, la mayor adhesividad y el mayor estiramiento. Tanto en los productos comerciales como en las soluciones de gomas y suspensiones con almidón predominaron las propiedades cohesivas sobre las adhesivas a excepción de la CMC en la que hubo un ligero predominio de las adhesivas. Las curvas de flujo de los productos comerciales presentaron un adelgazamiento a la cizalla que se ajustó al modelo de la potencia, excepto el jarabe de maíz que fue Newtoniano. En cajeta se observó un claro comportamiento tixotrópico, un índice de consistencia considerablemente mayor y el menor índice de comportamiento al flujo. Se destaca también un comportamiento tixotrópico en XaNa, CMC y la mezcla AMCE-CMC, mientras que para el caso del AMCE destacó un comportamiento antitixotrópico. En la CMC, el AMCE y en la mezcla de AMCE-CMC se presentó un buen ajuste al modelo de la potencia en la curva de flujo al equilibrio. Para el caso de la XaNa esta se ajustó al modelo de Herschel-Bulkley.

En los productos comerciales, sin considerar a la cajeta, hubo una clara dependencia lineal del contenido de azúcar con la adhesividad, fuerza adhesiva, índice de comportamiento e índice de consistencia. Con respecto a la relación entre propiedades reológicas y adhesivas también de los productos comerciales los mayores coeficientes de correlación se obtuvieron para la adhesividad y fuerza adhesiva con la viscosidad aparente evaluada a  $800\text{ s}^{-1}$  (lineal) y para la adhesividad y el índice de consistencia (potencial). Para las suspensiones con almidón y las soluciones de gomas, sin considerar a la CMC, la mejor correlación se obtuvo para la adhesividad con la viscosidad aparente a  $28\text{ s}^{-1}$ ,  $45\text{ s}^{-1}$  y  $73\text{ s}^{-1}$ .

Este trabajo, aun cuando se manejaron pocos productos, muestra que existe una relación entre las propiedades reológicas y adhesivas en productos comerciales, soluciones de gomas y suspensiones con almidón. Los resultados pueden ser de utilidad en productos con propiedades adhesivas en los que se desea reducir el contenido de azúcar, compensando la viscosidad aparente y propiedades adhesivas que ésta imparte con el uso de gomas y almidón.

## I. INTRODUCCIÓN

Los alimentos, además de ofrecer un olor, color y sabor característico, exhiben determinado comportamiento mecánico: tienen cierta reacción cuando intentamos deformarlos. Pueden ser duros o blandos; correosos, gomosos o quebradizos; de textura uniforme o fibrosa, adhesivos, etc. Unos fluyen fácilmente, otros con dificultad. Existen dos procedimientos para expresar o estimar su comportamiento mecánico; uno de ellos consiste en tocar, estrujar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones recogidas: método sensorial (fisiológico/psicológico). Las apreciaciones de este tipo varían ampliamente con el individuo que las efectúa, por lo que es preciso someterlas a un tratamiento estadístico. A veces, estas cualidades son sensorialmente valoradas por medio de un panel o jurado de catadores, que asigna determinada calificación al producto. El segundo grupo de procedimientos de evaluación utiliza métodos físicos; el valor apreciado no depende, en este caso, del individuo que efectúa la medición, que se realiza instrumentalmente; estos métodos suelen ser considerados como "objetivos" (Muller, 1977).

Las propiedades texturales juegan un papel muy importante en la aceptación de alimentos por parte del consumidor. Muchos alimentos fluidos y semisólidos que se consumen untándose sobre otro alimento como jarabes de maíz, de chocolate, leche condensada azucarada, mayonesa, mermelada, crema de cacahuete, mantequilla, dips, entre otros, tienen la particularidad de ser pegajosos o adhesivos. Estos productos generalmente contienen un alto porcentaje de azúcar y/o grasa. Diversos estudios han demostrado que la pegajosidad es el término textural más empleado por los consumidores para referirse a los materiales adhesivos, ya que también está

asociada con productos químicos como pegamentos y pinturas. Por otra parte también se ha demostrado que frente a un panel de consumidores, éstos han llegado a asociar la pegajosidad con la viscosidad, con que tan "grueso" o "delgado" es un producto (Kilcast y Roberts, 1998). Con respecto a la pegajosidad como atributo en los alimentos, se han hecho numerosos estudios para desarrollar métodos instrumentales que permitan llevar a cabo su evaluación. El consumidor la evalúa a través del contacto directo del alimento con las manos y la boca. Pocos estudios acerca de este método han sido publicados, pero esta información puede ser de gran utilidad para diseñar pruebas que ayuden a medir las características de pegajosidad (Kilcast y Roberts, 1998).

La adhesividad como atributo de textura se define físicamente como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que éste entra en contacto. Sensorialmente se define como la fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante su consumo (Szczeniak, 1963).

Jowit (1974) define la pegajosidad como una propiedad textural que se manifiesta por la tendencia de un alimento a adherirse al contactar las superficies como el paladar, los dientes y la lengua durante la masticación. En algunas pruebas que se han llevado a cabo con los consumidores se ha llegado a la conclusión de que los alimentos pegajosos pueden poseer combinaciones de las siguientes características: bajo contenido de humedad, alto contenido de sólidos solubles, fusión a temperaturas corporales y alta adhesividad en superficies (Kilcast y Roberts, 1998).



En español, la palabra más comúnmente asociada con las propiedades adhesivas es la pegajosidad (stickiness, en inglés). La pegajosidad se manifiesta ya sea por la adhesión a los equipos de proceso, los materiales de envase, los dedos y las superficies orales duras (piezas dentales) y suaves (paladar, lengua) y es el resultado de muchas situaciones complejas relacionadas tanto con el material que se pega como con la superficie (Kilcast y Roberts, 1998). La pegajosidad es uno de los términos populares asociados con la adhesividad pero depende no solamente de las fuerzas adhesivas sino también de las fuerzas de cohesión entre los componentes estructurales básicos del alimento. Como puede notarse, la definición de adhesividad no incluye explícitamente la palabra "pegajosidad"; en idioma inglés pegajosidad (stickiness) aparece como el nivel más bajo en la escala de "adhesividad", seguido de los términos "tacky" y "goeey" (Szczeniak, 1963). En español, aparentemente no hay equivalentes a estas palabras pues en el diccionario (García, 1984) se traduce ambas como "pegajoso". Almeida y Rooney (1997) en masa de maíz nixtamalizado, definen la "pegajosidad" como la fuerza necesaria para desprender el dispositivo de una muestra de masa después de aplicar fuerza durante un tiempo determinado. Una definición que surge del área de adhesivos sensibles a la presión es la de "tack", referida como la propiedad que permite a un adhesivo formar una unión con la superficie de otro material después de un breve contacto bajo una presión pequeña, en esta definición es evidente que la magnitud del tiempo y la presión ejercida tienen influencia en la "pegajosidad".

En la medición instrumental de las propiedades adhesivas, por lo general se procede a aplicar presión al alimento en estudio con un dispositivo, durante un tiempo y se mide la fuerza en función de éste al retirar el dispositivo a una velocidad

determinada. Kilcast y Roberts (1998) comentan que varios aspectos físicos están involucrados en la adhesión. Este fenómeno involucra el contacto entre interfases líquido-sólido o sólido-sólido, por lo que la energía de superficie y la humectación entran en juego. La completa humectación de una superficie ocurre cuando la energía superficial del adherendo (la superficie) es mayor que la del adhesivo (Saunders y col., 1992). Los resultados de una prueba instrumental en consecuencia dependen del material utilizado para presionar el alimento.

Actualmente, instrumentos de uso múltiple como la Máquina Instron y los texturómetros Lloyd, Stable Micro Systems y Stevens se han utilizado para efectuar la prueba de adhesividad. El Análisis de Perfil de Textura instrumental (TPA, por sus siglas en inglés), proporciona información de varias características texturales de un alimento entre otras la adhesividad. Cuando se desea comparar una propiedad en particular, como la adhesividad, es recomendable efectuar pruebas específicas que den mayor información. La prueba instrumental de adhesividad consiste en lo siguiente: el material se coloca sobre la base del texturómetro o en un recipiente cilíndrico; el dispositivo (generalmente un cilindro) baja a una velocidad específica hasta llegar a detectar la superficie de la muestra (con la fuerza señalada), enseguida aplica la fuerza indicada al material, misma que mantiene por un tiempo determinado (Figura A1, apéndice). Durante el proceso de compresión y retirada, se grafica la fuerza en función de la distancia o tiempo. De la curva fuerza-tiempo o fuerza distancia durante la retirada se extraen: la fuerza máxima (fuerza adhesiva), el área total bajo la curva (trabajo efectuado para la separación), denominada adhesividad; la distancia necesaria para que la fuerza llegue a cero o a un valor asintótico (stringiness o estiramiento). Asimismo, el área total se descompone en

dos partes: el área anterior y posterior a la fuerza máxima, denominadas área adhesiva y área cohesiva respectivamente (Figura A2, apéndice). El tipo de ruptura (denominado falla) durante la separación es de gran importancia. Una verdadera falla adhesiva ocurre si hay una separación limpia de la unión entre el adhesivo y el adherendo y no permanece material adherido en la superficie de éste (predominan las propiedades cohesivas). Cuando la falla ocurre no en la superficie sino dentro del alimento y quedan residuos en ambas superficies, se trata de una falla cohesiva (predominan las propiedades adhesivas) (Anónimo, 1998). La mayoría de los alimentos presentan una falla cohesiva. El modo de falla es dependiente de la velocidad de separación, de la temperatura y del comportamiento reológico del material. Altas velocidades de separación producen fallas adhesivas y bajas velocidades falla cohesiva. La investigación con adhesivos sensibles a la presión ha demostrado que al aumentar la temperatura ocurre una transición de falla adhesiva a cohesiva, asociada con transición de elasticidad tipo hule a comportamiento viscoso.

Las propiedades reológicas del adhesivo (alimento) son también determinantes; en el caso de líquidos, la humectación es más rápida cuando la viscosidad es menor. El efecto de la velocidad de retirada del dispositivo es parcialmente atribuido a las propiedades viscoelásticas del alimento, Dahlquist (1989) concluye que el "tack" es un proceso controlado por el módulo elástico cuando el adhesivo moja completamente el adherendo y que el máximo "tack" ocurre cuando el adhesivo tiene un bajo módulo elástico en el intervalo de tiempo del proceso de presión y alto en el proceso de despegado o retirada del dispositivo y establece que no ocurre "tack" cuando el módulo de almacenamiento  $G'$  es mayor de 100 kPa en adhesivos por presión y es probable que sea aplicable a alimentos. Boyd y Sherman (1975)

reportaron que a bajas velocidades de retirada del dispositivo, el desarrollo del patrón de fuerzas puede ser modificado por la relajación del esfuerzo, mientras que a altas velocidades se pueden introducir efectos de formación de huecos en la muestra.

En un estudio de extensibilidad, viscosidad y pegajosidad con fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos, DeMartine y Cussler (1975) desarrollaron un modelo que relacionaba la pegajosidad subjetiva con la medición de fuerza en función del tiempo, y obtuvieron una mejor correlación para untabilidad y viscosidad que para pegajosidad.

Boyd y Sherman (1975) en un estudio sobre pegajosidad en alimentos por este método encontraron que la mayoría de los productos desarrollan mayores fuerzas a mayores velocidades de separación, aun cuando algunos como el queso crema no mostraron dependencia. Estudios efectuados en jarabes newtonianos de azúcar por el método de separación de placas y extrusión negativa no mostraron buena correlación con métodos sensoriales. La adhesividad sensorial mostró buena correlación con la viscosidad y tensión superficial (Brennan y Mohamed, 1984). Tscheuschner y Markow (1986) en un estudio con chocolate a 37 °C por el método de separación de placas usaron la fuerza máxima como medida de la pegajosidad y demostraron falla cohesiva, no comentan el efecto de variar las condiciones experimentales. Henry y Morris (1969), midieron la fuerza máxima de tensión y el estiramiento de pastas de guar, algarrobo y almidón pregelatinizado de tapioca con azúcar a diferentes velocidades de separación de una placa después de hacer contacto con el producto y encontraron dependencia tanto de la fuerza como del estiramiento con la velocidad de separación.

Dada la importancia de las propiedades adhesivas en productos destinados a ser untados o vertidos sobre otros alimentos y al creciente empleo de gomas con propiedades espesantes en muchos de estos productos, este trabajo aborda la medición de propiedades adhesivas y de flujo de alimentos comerciales (jarabe de maíz, cajeta, leche condensada azucarada, jarabe de chocolate), soluciones de gomas y suspensiones con almidón.

## II. Materiales y Métodos

### **Materiales**

Para llevar a cabo la experimentación se utilizaron como materiales productos comerciales, soluciones de gomas y suspensiones con almidón. Los productos comerciales fueron cajeta de leche de cabra quemada Coronado, jarabe de maíz Karo, jarabe de chocolate Great Value y leche condensada azucarada Nestlé. Las soluciones de gomas fueron carboximetilcelulosa (CMC) al 0.8 %; xantana al 0.8 % en una solución 0.5 N de NaCl (XaNa), y las suspensiones con almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) al 4.5 %; y una combinación de almidón de maíz ceroso entrecruzado al 4 % con carboximetilcelulosa al 0.25 % (AMCE-CMC).

### **Preparación de soluciones de gomas y suspensiones con almidón**

Las soluciones de gomas fueron preparadas masa/masa en un homogenizador Silverson L4R, y el agua utilizada para todos los casos fue desionizada. Para la xantana al 0.8 % en una solución 0.5 N de NaCl primero se disolvió la sal a una temperatura de 40 °C con agitación constante, posteriormente se adicionó la goma, una vez mezclado todo se mantuvo a las mismas condiciones por 5 minutos. La CMC al 0.8 % se dispersó a una temperatura de 40 °C y agitación constante. El almidón AMCE al 4.5 % se dispersó con agitador de propela en agua fría y se fue calentando de 1 a 1.5 °C por minuto hasta alcanzar 90 °C y al llegar a dicha temperatura se dejó enfriar a temperatura ambiente. En la mezcla de AMCE al 4 % con la CMC al 0.25 %, primero se dispersó la CMC de la misma forma que ya se mencionó, por separado se suspendió el almidón en agua a temperatura ambiente y se agregó a la dispersión de la CMC, una vez mezclado esto se siguió agitando a velocidad constante con agitador de propela y se sometió a calentamiento de 1 a 1.5 °C por minuto hasta llegar a 90 °C.

## **Métodos**

### **Pruebas reológicas y texturales**

La parte experimental se llevó a cabo en dos etapas: la primera de ellas comprende las pruebas de adhesividad a las que fueron sometidos todos los materiales arriba mencionados. La segunda etapa experimental consistió en realizar la caracterización reológica de cada uno de los materiales en estudio.

La prueba de adhesividad se llevó a cabo en un Texturómetro TAXT2 con celda de carga de 25 kg empleando como dispositivo un cilindro de acrílico de una pulgada de diámetro. Una muestra representativa de aproximadamente 0.5 g se colocó en el centro de la base del texturómetro, el dispositivo se acercó a la superficie de la muestra y al iniciar la prueba bajó a una velocidad de acercamiento de 5 mm/s, con una fuerza para detectar el contacto con la muestra de 1 g, en este momento se aplicó una fuerza de 500 g durante 10 segundos, una vez transcurrido este tiempo el dispositivo se retiró a una distancia de 15 mm a una velocidad de 10 mm/s. Las pruebas se efectuaron por triplicado a temperatura de 25 °C. De la curva fuerza-tiempo (Figura 1) obtenida durante la retirada del dispositivo se calculó para cada curva: la fuerza adhesiva (la cual está representada en la gráfica por el pico de fuerza máxima), la adhesividad (que es el área total bajo la curva), el área cohesiva (área bajo la curva después del pico máximo), área adhesiva (área bajo la curva antes del pico máximo) y el estiramiento (distancia entre el inicio de la curva y la caída a cero) y el porcentaje de área cohesiva con relación al área adhesiva total. Se obtuvo el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada parámetro.

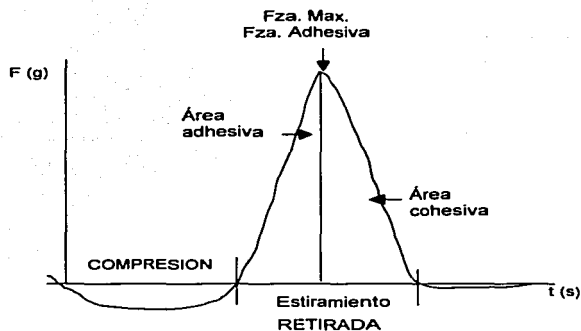


Figura 1. Prototipo de una curva de adhesividad.

La caracterización reológica se efectuó por medio de una prueba de cizalla estacionaria. Se utilizó para todos los materiales, excepto la cajeta, un viscosímetro con control de velocidad de cizallamiento (Physica MC1, Alemania). El sistema de medición fue de cilindros concéntricos (Z3DIN con diámetro de cilindro externo de 27.12 mm y cilindro interior de 25.0 mm). Para la cajeta se utilizó un reómetro Physica, Rheolab MC 100, Alemania, con sistema placa-placa (MP30) de 25 mm de diámetro y distancia entre placas de 1 mm. En ambos casos se controló la temperatura a 25 °C con baño de circulación de agua.

En el jarabe de maíz se efectuó un ciclo de ascenso de velocidad de cizallamiento de 0-300 s<sup>-1</sup> durante 60 s con 15 puntos espaciados de manera logarítmica, y un ciclo de descenso de 300-0 s<sup>-1</sup> de igual manera. Para jarabe de chocolate y leche



condensada azucarada, se efectuaron: un ciclo de ascenso de velocidad de cizallamiento de 0-800 s<sup>-1</sup> con 15 puntos espaciados de manera logarítmica y tiempo total de 60 segundos; un período de mantenimiento a 800 s<sup>-1</sup> por 120 segundos seguido de un ciclo de descenso de 800 s<sup>-1</sup> a 0 en 60 segundos y un último ascenso de 0 a 800 s<sup>-1</sup> en 60 segundos (curva de equilibrio) con la finalidad de determinar si los materiales presentan tixotropía. Para cajeta se hizo un ciclo de ascenso y un ciclo de descenso con 15 puntos durante 60 segundos. Para evitar que la muestra se secase, se mantuvo durante la prueba en una atmósfera húmeda con un dispositivo que para tal fin tiene el reómetro. Se efectuó la corrección del esfuerzo como sigue:

$$\sigma_{corr.} = \sigma(n+3)/4$$

Para las pruebas reológicas de las soluciones de gomas y suspensiones con almidón, se llevó a cabo el mismo procedimiento que para jarabe de chocolate y leche condensada. Las pruebas se hicieron por triplicado y con los datos promedio de las curvas de ascenso se efectuó el ajuste a Modelos Newtoniano y no-Newtoniano como Ostwald-De Waele (potencia) y Herschel-Bulkley. Lo mismo se hizo para las curvas de descenso y equilibrio. Con la finalidad de verificar el buen funcionamiento de los equipos, se efectuó la caracterización de un fluido de viscosidad conocida (standard Brookfield de 495 mPa·s).

### III. RESULTADOS

#### Características de los productos comerciales

En el cuadro 1 se presenta la composición de los productos comerciales, obtenida a partir de la información nutrimental por porción reportada en la etiqueta. Puede notarse que el mayor contenido de sólidos totales lo presenta la cajeta, seguida del jarabe de maíz, la leche condensada azucarada, y finalmente el jarabe de chocolate. El jarabe de maíz presenta el mayor contenido de carbohidratos y no contiene proteína ni grasa. La cajeta y la leche condensada azucarada presentan mayores contenidos de grasa (7.31 y 5.0 % respectivamente) y proteína (4.87 y 7.74 % respectivamente), en virtud de que la leche está elaborada con leche semidescremada.

Cuadro 1. Composición de productos comerciales

Producto	Ingredientes	Composición Química
Jarabe de maíz Karo	Glucosa, agua, jarabe de fructosa, sal yodatada, vitaminas, saborizante natural, ácido cítrico	Carbohidratos 72.54 % Sólidos totales 72.54% Agua 27.4 %
Cajeta de leche de cabra quemada Coronado	Leche de cabra, azúcar y glucosa. No contiene colorantes ni saborizantes artificiales	Carbohidratos 70.73 % Sólidos totales 82.88% Agua 17.12% Proteína 4.87 % Grasa 7.31 %
Jarabe de sabor chocolate Great Value	Jarabe de maíz, azúcar, agua, cocoa, potasio (conservador), goma de xantana, vegetales polisorbato 60, vainilla	Carbohidratos totales 60.52% Sólidos totales 63.15% Azúcares 42% Agua 36.85 % Proteínas 2.63%
Leche condensada azucarada. La lechera Nestlé	Leche semi-descremada y sacarosa	Carbohidratos 58.66 % Sólidos totales 71.4 % Agua 28.6 % Proteína 7.74 % Grasa 5.0 %

Se observa, que todos los productos son de bajo contenido de agua y alto contenido de carbohidratos, principalmente azúcares (glucosa, sacarosa, lactosa) a excepción del jarabe de chocolate en el que la cocoa contribuye aportando almidón y otros polisacáridos y el jarabe que puede contener dextrinas. En cuanto al tipo de estructura o sistema disperso que constituye cada producto, puede decirse lo siguiente: el jarabe de maíz es una solución concentrada de azúcares; la cajeta (producto similar al "dulce de leche" argentino, con 54-70 % de sólidos totales) puede definirse (Navarro y col. 1999) como una emulsión de una fase dispersa de glóbulos de grasa de leche en una fase continua acuosa saturada que contiene sacarosa, glucosa, proteína y otros componentes menores. La desnaturalización de la proteína y las reacciones de Maillard influyen de manera importante en su estructura y comportamiento reológico. Aun cuando puede parecer un producto similar a la leche condensada azucarada, su comportamiento reológico es muy diferente, debido al menor contenido de sólidos, carbohidratos y grasa, el estado de la proteína y menor grado de reacciones de oscurecimiento. El tipo de sistema disperso es similar, con un menor contenido en la leche condensada, de grasa en la fase dispersa y azúcares en la fase continua. El jarabe de chocolate puede ser descrito como una suspensión de partículas de cocoa en una fase continua acuosa que contiene azúcares en solución y goma xantana formando una dispersión coloidal.

En el caso de las soluciones de gomas, la XaNa, la CMC forman dispersiones coloidales, mientras que la mezcla AMCE-CMC, es una suspensión de gránulos de almidón hinchados en una fase continua en la que se encuentra la CMC formando una dispersión coloidal.

## Propiedades Adhesivas

En la figura 2, se presentan las curvas de adhesividad de los productos comerciales. Puede observarse que la curva de cajeta presentó el pico más alto de fuerza y la distancia mayor entre el inicio de la subida de fuerza y su caída a un valor constante. El menor pico de fuerza fue para el jarabe de chocolate, con una curva más angosta, similar a las de jarabe de maíz y leche condensada.

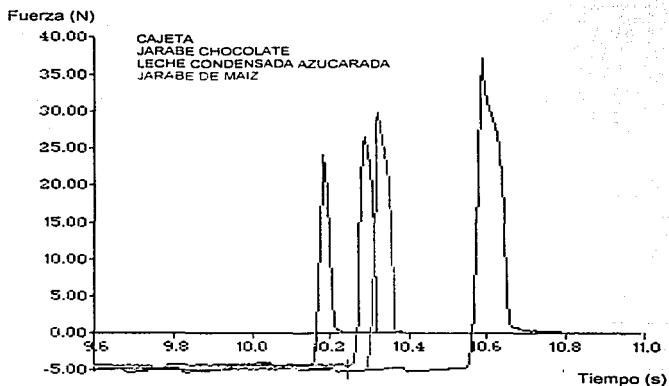


Figura 2. Curvas de adhesividad de productos comerciales estudiados a 25°C

En el Cuadro 2 se presentan los parámetros obtenidos de las curvas de la prueba adhesiva. La cajeta presentó la mayor fuerza adhesiva, seguida por el jarabe de maíz, leche condensada y jarabe de chocolate.

Cuadro 2. Propiedades adhesivas de productos comerciales estudiados a 25°C

Producto		Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N m)	Estiramiento (mm)	% Área adhesiva	% Área cohesiva
Cajeta	Promedio	<b>37.12</b>	<b>2.06 E-2</b>	<b>1.79</b>	<b>28.43</b>	<b>71.57</b>
	Desv.Est.	0.233	3.4 E-3	0.59	5.22	3.71
	C.V.	0.628	16.51	32.95	18.36	5.18
Jarabe de maíz	Promedio	<b>31.966</b>	<b>1.30 E-2</b>	<b>0.56</b>	<b>36.78</b>	<b>63.22</b>
	Desv.Est.	4.922	7.9 E-4	0.027	3.40	3.40
	C.V.	15.399	0.614	4.77	9.24	5.37
Leche condensada azucarada	Promedio	<b>26.741</b>	<b>1.03 E-2</b>	<b>0.58</b>	<b>38.86</b>	<b>61.14</b>
	Desv.Est.	0.331	9.02 E-4	0.093	4.43	4.64
	C.V.	1.238	0.875	15.92	11.39	7.58
Jarabe de chocolate	Promedio	<b>24.287</b>	<b>8.23 E-3</b>	<b>0.73</b>	<b>41.70</b>	<b>58.30</b>
	Desv.Est.	0.439	5.62 E-4	0.123	2.39	2.70
	C.V.	1.808	6.83	16.90	5.73	4.63

Con respecto a la adhesividad (área total bajo la curva que representa el trabajo efectuado para separar completamente el alimento adherido al dispositivo), la cajeta nuevamente mostró ser la más adhesiva; el jarabe de maíz y la leche condensada, mostraron una adhesividad similar y finalmente el jarabe de chocolate tuvo una menor adhesividad. El trabajo total está dado por la suma del trabajo adhesivo (para despegar el dispositivo de la base de pruebas) y el cohesivo (para separar completamente el material que queda adherido a la base y el dispositivo). Puede observarse que en la cajeta, el área cohesiva contribuye con el 71.57% del área total, en los demás productos se presentaron porcentajes de cohesividad del 63.2% en jarabe de maíz, 61.14% en leche condensada azucarada y 58.3% para jarabe de chocolate; en cuanto al área adhesiva ésta representó el 36.78% del área total en jarabe de maíz, 38.86% en leche condensada azucarada, y 41.70% en jarabe de chocolate. De acuerdo a estos datos podemos observar que en los tres productos predominan las propiedades cohesivas y que el jarabe de chocolate, la leche condensada azucarada y el jarabe de maíz son similares en cuanto a la contribución

de las áreas cohesiva y adhesiva a la adhesividad total. La mayor adhesividad y fuerza adhesiva en la cajeta puede estar relacionada con el mayor contenido en ésta de sólidos totales. Asimismo, el jarabe de chocolate que tiene el menor contenido de sólidos, presentó la adhesividad y fuerza adhesiva más bajas y un mayor equilibrio entre las propiedades cohesivas y adhesivas.

Todos los productos mostraron una falla cohesiva ya que la ruptura ocurrió dentro del alimento y quedó material adherido en ambas superficies. Esto coincide con lo reportado por Kilcast y Roberts (1998) en el sentido de que la mayoría de los alimentos presenta falla cohesiva, pero no cae en el caso típico en el que predominan las propiedades adhesivas. Entre las dos respuestas típicas de falla (cohesiva y adhesiva) puede haber comportamientos intermedios, lo que ocasiona que las curvas de adhesividad tomen formas muy variadas dependiendo de la magnitud de la fuerza adhesiva, el balance entre las propiedades cohesivas y adhesivas, el comportamiento del material adhesivo al estirarse (relajación, endurecimiento, adelgazamiento) y la velocidad de separación. Tal fue el caso de los productos estudiados, ya que si bien todos presentaron falla cohesiva, hubo predominio de las propiedades cohesivas (Kilcast y Roberts, 1998, Texture Technologies, 2000). En cuanto al estiramiento, la cajeta formó el hilo más largo antes de romperse (1.79 mm) durante la separación del dispositivo, seguido del jarabe de chocolate y finalmente la leche condensada y el jarabe de maíz con valores similares.

En la figura 3 y cuadro 3 se presentan las curvas y resultados de la prueba de adhesividad para las soluciones de gomas y suspensiones con almidón. Se observa

que éstas fueron mucho menos adhesivas que los productos comerciales, con la mayor fuerza adhesiva (7.11 N) en la CMC y la menor en el AMCE (2.6 N).

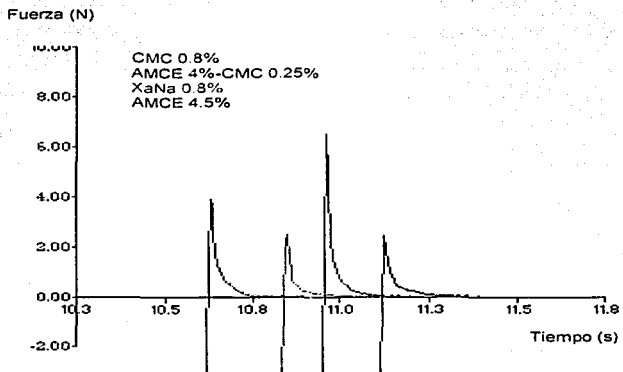


Figura 3. Curvas de adhesividad de soluciones de gomas y suspensiones con almidón estudiadas a 25 °C.

En cuanto a la adhesividad total, también la CMC fue la más alta ( $2.92 \text{ E-3 N m}$ ), y la más baja la XaNa ( $7.3 \text{ E-4 N m}$ ). Se observa que en la XaNa, en el AMCE y en la mezcla AMCE-CM, a excepción de la CMC, las propiedades cohesivas son alrededor de cuatro veces mayores que las adhesivas mientras que en los productos comerciales las cohesivas son de 1.4 a 2.5 veces mayores que las adhesivas. En la CMC existe un balance en las propiedades cohesivas y adhesivas. En el caso del estiramiento, el AMCE y la CMC presentaron valores muy parecidos y similares a la cajeta, mientras que la XaNa fue la dispersión que presentó el menor estiramiento

(1.27 mm) pero este valor fue mayor al de la leche condensada azucarada, jarabe de maíz y jarabe de chocolate (0.56-0.73 mm).

Cuadro 3. Propiedades adhesivas de soluciones de gomas y suspensiones con almidón estudiadas a 25 °C

Producto		Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N m)	Estiramiento (mm)	%Área adhesiva	% Área cohesiva
AMCE 4%-CMC 0.25%	Promedio	<b>4.01</b>	<b>1.32 E-3</b>	<b>1.57</b>	<b>18.56</b>	<b>81.44</b>
	Desv.Est.	0.115	4.14E-05	0.34	5.71	5.71
	C.V.	2.86	5.38	22.01	30.76	7.01
AMCE 4.5%	Promedio	<b>2.6</b>	<b>9.1 E-4</b>	<b>1.71</b>	<b>21.20</b>	<b>78.80</b>
	Desv.Est.	0.346	1.04 E-4	0.34	1.73	1.73
	C.V.	13.295	11.45	20.14	8.17	2.19
XaNa 0.8%	Promedio	<b>2.644</b>	<b>7.3 E-4</b>	<b>1.27</b>	<b>18.72</b>	<b>81.28</b>
	Desv.Est.	0.1007	4.1 E-5	0.16	9.56	9.56
	C.V.	3.80	5.66	12.49	51.09	11.76
CMC 0.8%	Promedio	<b>7.11</b>	<b>2.92 E-3</b>	<b>1.77</b>	<b>54.65</b>	<b>45.35</b>
	Desv.Est.	0.191	1.03 E-4	0.22	1.31	1.31
	C.V.	2.69	3.53	12.56	2.40	2.89

La mezcla AMCE-CMC presenta propiedades de fuerza adhesiva y adhesividad intermedias con relación a los componentes solos y predominio de las propiedades cohesivas en comparación con la CMC. Los materiales con el mayor estiramiento (cajeta, el AMCE, la CMC y la mezcla AMCE-CMC) presentaron alta adhesividad y suficiente área cohesiva, lo que coincide con lo que mencionan Kilcast y Roberts (1998), en el sentido de que un material con alto nivel de adhesividad pero suficiente cohesividad da una alta elongación a la ruptura.

### Propiedades de flujo

En la figura 4 se presenta la curva de flujo de ascenso y descenso (o equilibrio en su caso) de jarabe de maíz, jarabe de chocolate y leche condensada azucarada y en la



Figura 5, de la cajeta. De estas curvas se puede destacar lo siguiente: la cajeta, por su alta viscosidad aparente solamente pudo ser evaluada en un intervalo de velocidad de cizallamiento bajo (hasta  $100 \text{ s}^{-1}$ ); el jarabe de maíz, por presentar un comportamiento newtoniano, tampoco pudo alcanzar velocidades de cizallamiento altas (máximo  $300 \text{ s}^{-1}$ ) y la leche condensada, por presentar menor viscosidad aparente, solo se obtuvieron resultados adecuados en el intervalo de  $50\text{-}800 \text{ s}^{-1}$ . La cajeta presentó una importante diferencia entre las curvas de ascenso y descenso (histéresis), con este último por debajo del primero, lo que denota un claro comportamiento tixotrópico. El jarabe de chocolate y la leche condensada presentaron un ligero comportamiento tixotrópico y el jarabe de maíz puede considerarse independiente del tiempo de cizallamiento, aun cuando el esfuerzo de cizalla de descenso a la máxima velocidad fue más alto que el de ascenso, lo cual puede atribuirse a dos causas: resecamiento de la muestra o desarrollo de flujo turbulento. Todos los productos, a excepción del jarabe de maíz (comportamiento que se ajustó al modelo newtoniano, ecuación 1) presentaron curvas del tipo del modelo de la potencia (Ostwald-De Waele, ecuación 2).

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

en donde  $\eta$  es la viscosidad del modelo de Newton ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) ,  $\sigma$  es el esfuerzo de cizallamiento (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de cizallamiento ( $\text{s}^{-1}$ ),  $k$  es el índice de consistencia del modelo de la potencia ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) y  $n$  es el índice del comportamiento al flujo (adimensional).

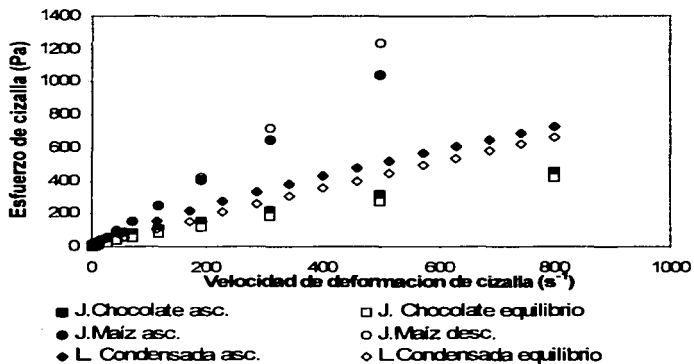


Figura 4. Curva de flujo de los productos comerciales en estudio a 25 °C.

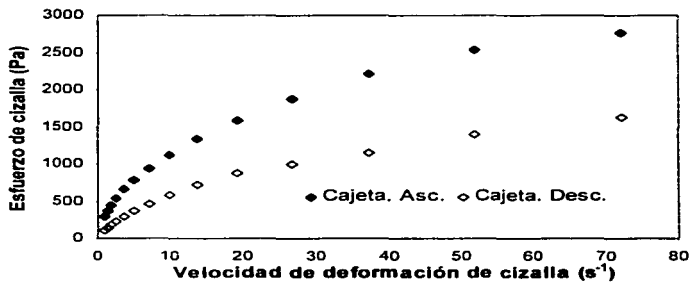


Figura 5. Curva de flujo ascenso-descenso de cajeta a 25 °C.

En el cuadro 4 se presentan los parámetros reológicos de los productos comerciales. La cajeta presentó el mayor índice de consistencia y el menor índice de comportamiento al flujo, lo cual indica un mayor adelgazamiento a la cizalla. La leche condensada presenta el menor índice de consistencia (menor valor de k) y es la menos adelgazante a la cizalla (mayor valor de n).

Cuadro 4. Parámetros reológicos de los productos comerciales estudiados a 25°C.

Producto	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	Modelo reológico	Curva	R <sup>2</sup>	$\eta$ (Pa·s <sup>n</sup> )	n	k (Pa·s <sup>n</sup> )
Cajeta	1 - 100	Otswald	Ascenso	0.995	---	0.54	282.2
			Equilibrio	0.995	---	0.68	97.12
Jarabe de maíz	1 - 300	Newtoniano	Ascenso	0.999	2.06	---	---
			Descenso	0.999	2.15	---	---
Leche condensada azucarada	50 - 800	Otswald	Ascenso	0.999	---	0.81	3.3
			Equilibrio	0.999	---	0.97	1.11
Jarabe de chocolate	1 - 800	Otswald	Ascenso	0.997	---	0.61	5.60
			Equilibrio	0.998	---	0.69	2.86

En la figura 6 se presentan la curva de flujo de ascenso y equilibrio de las soluciones de gomas y suspensiones con almidón. En todos los casos, el intervalo de velocidad de cizallamiento fue de 1-800 s<sup>-1</sup>. Todas las soluciones de gomas y suspensiones con almidón presentaron un comportamiento adelgazante a la cizalla siendo éste más pronunciado para la XaNa (menor valor de n). En la mezcla AMCE-CMC, la curva de ascenso estuvo por arriba de la de descenso lo que denota un comportamiento tixotrópico. El AMCE (Figura 7) presentó una importante diferencia entre las curvas de ascenso y descenso, con el descenso por arriba del ascenso revelando un claro comportamiento antitixotrópico.



En la mezcla AMCE-CMC la presencia de la CMC en la fase continua eliminó la antitixotropía, aumentó el índice de consistencia, disminuyó el índice de comportamiento y aumentó la viscosidad aparente en las velocidades de cizallamiento bajas y medias (considerando el modelo de la potencia). Este fenómeno ya había sido observado por Tecante y Doublier (1999) en AMCE a 60° C y por Sosa y col. (2001) y lo explican como el desarrollo de estructura inducida por el flujo. Lo anterior se refleja en los mayores valores de los índices de consistencia y comportamiento al flujo para la curva de descenso (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros reológicos de soluciones de gomas y suspensiones con almidón estudiadas a 25° C.

Producto	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	Modelo reológico	Curva	R <sup>2</sup>	n	k (Pa·s <sup>n</sup> )	$\sigma_0$ (Pa)
XaNa 0.8%	1 - 800	Herschel Bulkley	Ascenso	0.995	0.29	2.92	9.0
			Equilibrio	0.994	0.25	4.20	5.0
			Ostwald	0.973	0.14	11.08	---
CMC 0.8%	1 - 800	Ostwald	Ascenso	0.986	0.16	8.76	---
			Equilibrio	0.984	0.44	6.47	---
			Ostwald	0.982	0.45	4.39	---
AMCE 4.5%	1 - 800	Ostwald	Ascenso	0.993	0.45	4.68	---
			Equilibrio	0.990	0.51	5.83	---
			Ostwald	0.974	0.41	6.77	2.0
AMCE 4.0%-CMC 0.25%	1 - 800	Herschel Bulkley	Ascenso	0.965	0.43	5.4	2.0
			Equilibrio	0.984	0.37	8.49	---
			Ostwald	0.985	0.38	7.37	---

En las graficas 6 y 7 no es muy notable en todos los casos la existencia de un esfuerzo de fluencia, sin embargo de acuerdo al tratamiento de datos reportado en el cuadro 5, la XaNa presentó una curva del tipo de un fluido plástico (Herschel Bulkley, ecuación 3).

$$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

En donde  $\sigma$  es el esfuerzo de cizallamiento (Pa),  $\sigma_0$  es el esfuerzo de fluencia (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de cizallamiento ( $s^{-1}$ ),  $K$  es el índice de consistencia del modelo de la potencia ( $Pa \cdot s^n$ ) y  $n$  es el índice del comportamiento al flujo (adimensional). En la XaNa, el esfuerzo de fluencia fue menor en la curva de descenso. La mezcla AMCE-CMC gráficamente parece presentar un esfuerzo de fluencia pequeño, pero al aplicar los modelos de Herschel Bulkley (con esfuerzo de fluencia de 2, 3, y 4 Pa) y Casson se obtuvo un ajuste más pobre que para el modelo de la potencia por lo que se consideró que no presenta esfuerzo de fluencia y al igual que el AMCE y la CMC solos, presentaron curvas que dieron un mejor ajuste al modelo de la potencia. La XaNa (considerando el modelo de Herschel-Bulkley) presentó el menor índice de comportamiento al flujo y por lo tanto fue la más adelgazante a la cizalla. El AMCE y la CMC tuvieron un índice de comportamiento de magnitud similar y la mezcla de ambas (modelo de Otswald) fue más adelgazante a la cizalla que cada una de manera individual. Considerando los modelos que proporcionaron un mejor ajuste de los datos experimentales, el mayor índice de consistencia lo presentó la mezcla AMCE-CMC y el más bajo la XaNa. La adición de la CMC al AMCE, disminuyó el índice de comportamiento y aumentó el índice de consistencia en relación a las gomas individuales.

En cuanto a las gráficas de viscosidad aparente de los productos comerciales (Figura 8) observamos que la cajeta presentó una viscosidad aparente considerablemente mayor a los demás productos en todo el intervalo de velocidad de cizallamiento, debido a su elevado índice de consistencia, aun cuando es el producto más adelgazante a la cizalla.

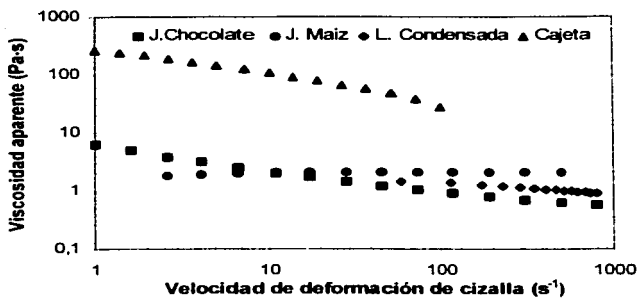


Figura 8. Curva de viscosidad de los productos comerciales en estudio.

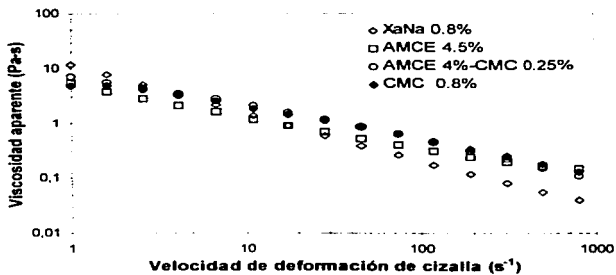


Figura 9. Curva de viscosidad de soluciones de gomas y suspensiones con almidón en estudio.

El jarabe de chocolate, a bajas velocidades de cizallamiento (hasta  $10 \text{ s}^{-1}$ ), fue más viscoso que el jarabe de maíz, mientras que a velocidades de cizalla de  $10\text{-}800 \text{ s}^{-1}$  presentó la menor viscosidad de todos, lo anterior es debido a su alto índice de consistencia y su menor índice de comportamiento en relación con la leche condensada azucarada y el jarabe de maíz (comportamiento Newtoniano). El jarabe de maíz presentó una viscosidad constante mayor a la del jarabe de chocolate y a la de la leche condensada azucarada, además, esta última, evaluada en el intervalo de  $50\text{-}800 \text{ s}^{-1}$ , tuvo una viscosidad intermedia entre el jarabe de maíz y el de chocolate misma que disminuyó ligeramente con la velocidad de cizalla, debido a que su índice de comportamiento resultó relativamente alto (0.81 para la curva de ascenso).

En cuanto a la viscosidad aparente de las soluciones de gomas y suspensiones con almidón (Figura 9), a velocidad de cizallamiento baja ( $1 \text{ s}^{-1}$ ), la XaNa, debido a la presencia del esfuerzo de fluencia, presentó la mayor viscosidad aparente, seguida de la mezcla AMCE-CMC, del AMCE y de la CMC. La XaNa mostró una caída pronunciada de viscosidad al aumentar la velocidad de cizallamiento, a causa de su fuerte carácter adelgazante, para terminar a  $800 \text{ s}^{-1}$  con la menor viscosidad. Alrededor de los  $10 \text{ s}^{-1}$ , la viscosidad de todas las soluciones de gomas y suspensiones con almidón fueron muy cercanas; y a  $30 \text{ s}^{-1}$  la XaNa y el AMCE tuvieron viscosidad mas baja y muy cercana entre sí, mientras que la CMC y la mezcla AMCE-CMC estuvo por arriba. A  $800 \text{ s}^{-1}$  el AMCE, la CMC y la mezcla AMCE-CMC mostraron una viscosidad similar y superior a la de la XaNa.



### **Relación entre propiedades reológicas y texturales**

Con la finalidad de determinar si existe relación entre las propiedades adhesivas y reológicas de los productos en estudio, se construyeron gráficas (en el Anexo A3 y Anexo A4 se ejemplifican algunas de ellas) de parámetros adhesivos (eje x) y reológicos (eje y) y las curvas resultantes se ajustaron por medio de regresiones lineales, potenciales y exponenciales.

### **Productos comerciales**

Debido a que la cajeta presentó un índice de consistencia muy superior a los demás productos, se obtuvieron correlaciones muy bajas con este parámetro y las propiedades adhesivas. Lo mismo sucedió con la viscosidad a diferentes velocidades de cizallamiento. Por lo anterior, se decidió efectuar regresiones sin considerar a la cajeta. Los resultados de las regresiones que produjeron un coeficiente de correlación alto (superior a 0.8) se presentan en el cuadro 6. En las ecuaciones del cuadro 6 se puede notar que al aumentar el porcentaje de azúcar, aumentan la adhesividad y la fuerza adhesiva y disminuyen el estiramiento y el porcentaje de área adhesiva, incrementándose en consecuencia el porcentaje de área cohesiva. La viscosidad aparente a  $45 \text{ s}^{-1}$ ,  $73 \text{ s}^{-1}$  y  $800 \text{ s}^{-1}$  y el índice de comportamiento al flujo ( $n$ ), aumentan cuando se presenta un porcentaje de azúcar mayor, mientras que el índice de consistencia ( $k$ ) disminuye. Al aumentar la fuerza adhesiva y la adhesividad, aumentan  $n$  y la viscosidad aparente a  $45 \text{ s}^{-1}$ ,  $73 \text{ s}^{-1}$  y  $800 \text{ s}^{-1}$  y  $k$  disminuye potencialmente. Al aumentar el porcentaje de adhesividad, disminuyen la viscosidad y  $n$  y aumenta  $k$ . El estiramiento disminuye de manera potencial con  $n$  y aumenta en forma lineal con  $k$ .

Cuadro 6. Relación entre propiedades reológicas y texturales. Productos comerciales en estudio: jarabe de maíz, jarabe de chocolate y leche condensada azucarada (sin considerar cajeta).

Comparación	Ecuación	R <sup>2</sup>
<sup>a</sup> %azúcar - adhesividad	$y = 6340x - 8.9$	0.984
<sup>a</sup> %azúcar - % adhesividad	$y = -6.1872x + 299.74$	0.998
<sup>a</sup> %azúcar - estiramiento	$y = -0.0056x + 0.944$	0.859
<sup>a</sup> %azúcar - Fuerza Adhesiva	$y = 3.7699x - 46.56$	0.935
<sup>a</sup> %azúcar - viscosidad (73 s <sup>-1</sup> )	$y = 0.0342x - 0.463$	0.912
<sup>a</sup> %azúcar - viscosidad (800 s <sup>-1</sup> )	$y = 0.032x - 0.8353$	0.947
<sup>a</sup> %azúcar - k	$y = -0.1158x + 10.344$	0.989
<sup>a</sup> %azúcar - n	$y = 0.0126x + 0.082$	0.997
<sup>b</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad (45 s <sup>-1</sup> )	$y = 0.0901x - 0.8199$	0.923
<sup>b</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad (73 s <sup>-1</sup> )	$y = 0.1393x - 2.3449$	0.998
<sup>b</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad (800 s <sup>-1</sup> )	$y = 0.1282x - 2.5337$	0.999
<sup>b</sup> Fuerza Adhesiva - n	$y = 0.0485x - 0.5358$	0.952
<sup>b</sup> Fuerza Adhesiva - k	$y = 383894x^{-3.5143}$	0.958
<sup>b</sup> Adhesividad - viscosidad (45 s <sup>-1</sup> )	$y = 140.96x + 0.1908$	0.840
<sup>b</sup> Adhesividad - viscosidad (73 s <sup>-1</sup> )	$y = 225.22 x - 0.8582$	0.970
<sup>b</sup> Adhesividad - viscosidad (800 s <sup>-1</sup> )	$y = 209.19x - 1.1853$	0.989
<sup>b</sup> Adhesividad - n	$y = 81.197x - 0.0467$	0.992
<sup>b</sup> Adhesividad - k	$y = 0.0002x^{-2.185}$	0.998
<sup>b</sup> %adhesividad - viscosidad (73 s <sup>-1</sup> )	$y = -0.2087x - 9.672$	0.891
<sup>b</sup> %adhesividad - viscosidad (800 s <sup>-1</sup> )	$y = -0.1963x + 8.868$	0.931
<sup>b</sup> %adhesividad - n	$y = -0.0776x + 3.842$	0.993
<sup>b</sup> %adhesividad - k	$y = 0.7183x - 24.439$	0.994
<sup>b</sup> Estiramiento - n	$y = 0.3665x^{-1.5999}$	0.881
<sup>b</sup> Estiramiento - k	$y = 18.586x - 7.904$	0.924

a: En x se representa azúcar y en y la propiedad textural o reológica

b: En x se representa la propiedad textural y en y la propiedad reológica

### Soluciones de gomas y suspensiones con almidón

En éste caso fue más difícil obtener correlación entre propiedades reológicas y texturales, ya que al hacer los gráficos incluyendo tanto las soluciones de gomas como las suspensiones con almidón se obtenían valores muy bajos de  $R^2$ ; solamente se obtuvo una correlación alta entre el estiramiento-k, estiramiento-n y estiramiento-viscosidad aparente ( $45 \text{ s}^{-1}$ ,  $73 \text{ s}^{-1}$  y  $800 \text{ s}^{-1}$ ), así como entre el %adhesividad-k (Ver cuadro 7).

Cuadro 7. Relación entre propiedades reológicas y texturales de soluciones de gomas (CMC y XaNa) y suspensiones con almidón (AMCE y la mezcla AMCE-CMC).

Comparación	Ecuación	$R^2$
<sup>a</sup> Estiramiento - k	$y = 0.3426e^{1.6557x}$	0.882
<sup>a</sup> Estiramiento - n	$y = 0.0877e^{0.9689x}$	0.931
<sup>a</sup> Estiramiento - viscosidad $45 \text{ s}^{-1}$	$y = 0.07e^{1.29x}$	0.824
<sup>a</sup> Estiramiento - viscosidad $73 \text{ s}^{-1}$	$y = 0.5974x - 0.5125$	0.824
<sup>a</sup> Estiramiento - viscosidad $800 \text{ s}^{-1}$	$y = 0.1499x - 0.1418$	0.703
<sup>a</sup> % Adhesividad - k	$y = 0.0917x + 1.5298$	0.776

a: En x se representa la propiedad textural y en y la propiedad reológica.

La correlación subía en algunos casos al eliminar el AMCE, en otros al descartar la mezcla AMCE-CMC, y en otros al no considerar a la CMC. Por lo tanto, se decidió reportar solamente aquellas relaciones en las que se eliminó a la CMC considerando que es el que presenta valores de fuerza adhesiva y adhesividad más altos, lo que probablemente ocasiona los valores bajos de  $R^2$ .

Cuadro 8. Relación entre propiedades reológicas y texturales de XaN<sub>a</sub>, AMCE y la mezcla AMCE-CMC (sin considerar a la CMC).

Comparación	Ecuación	R <sup>2</sup>
<sup>a</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad 10 s <sup>-1</sup>	y = 0.5794x - 0.2405	0.966
<sup>a</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad 45 s <sup>-1</sup>	y = 0.2903x - 0.3003	0.903
<sup>a</sup> Fuerza Adhesiva - viscosidad 73 s <sup>-1</sup>	y = 0.2123x - 0.2232	0.835
<sup>a</sup> Fuerza Adhesiva - k	y = 3.3463x - 4.9589	0.887
<sup>a</sup> Estiramiento - n	y = 0.4174x - 0.236	0.955
<sup>a</sup> Adhesividad - viscosidad 28 s <sup>-1</sup>	y = 1032.8x - 0.1973	0.983
<sup>a</sup> Adhesividad - viscosidad 45 s <sup>-1</sup>	y = 809.72x - 0.2039	0.999
<sup>a</sup> Adhesividad - viscosidad 73 s <sup>-1</sup>	y = 613.7x - 0.1737	0.992
<sup>a</sup> %adhesividad - viscosidad 800 s <sup>-1</sup>	y = 0.1392x - 0.135	0.925

a: En x se representa la propiedad textural y en y la propiedad reológica

De las ecuaciones del cuadro 8 se observa que la fuerza adhesiva aumenta linealmente al aumentar la viscosidad y k, comportamiento similar al presentado por los productos comerciales a excepción de k, que en estos últimos, disminuye con la viscosidad. El estiramiento y n presentan una relación lineal directa, diferente a los productos comerciales en los que tienen una relación potencial inversa. La adhesividad aumenta de manera lineal directa con la viscosidad, comportamiento similar a los productos comerciales. El porcentaje de adhesividad aumenta linealmente con la viscosidad a 800 s<sup>-1</sup>, presentando un comportamiento opuesto al de los productos comerciales. Dado que tanto para los productos comerciales como para las soluciones de gomas y suspensiones con almidón fue necesario eliminar el material con propiedades extremas (alta viscosidad para cajeta y elevada adhesividad para la CMC), es posible que exista correlación entre propiedades reológicas y texturales sobre ciertos intervalos de las mismas y que las constantes de

la ecuación que las correlaciona o el tipo de correlación (lineal, potencial o exponencial) cambien al cambiar dicho intervalo.

En algunos casos se presentaron las mismas tendencias tanto para productos comerciales como para las soluciones de gomas y suspensiones con almidón. El que esto no haya sido general, puede deberse a que las propiedades adhesivas dependen de diferentes factores en las soluciones de gomas y suspensiones con almidón (tipo y porcentaje o concentración de goma) y productos comerciales en estudio (porcentaje de azúcar, porcentaje de grasa).

## CONCLUSIONES

Los productos comerciales con que se trabajó, presentaron propiedades adhesivas (fuerza adhesiva y adhesividad) considerablemente mayores que las soluciones de gomas y suspensiones con almidón a las concentraciones manejadas. En todos los materiales estudiados se tiene un predominio de las propiedades cohesivas sobre las adhesivas, siendo éste más notorio en las soluciones de gomas y suspensiones con almidón. Una excepción a este comportamiento fue la CMC, en la que predominaron ligeramente las propiedades adhesivas sobre las cohesivas, además de tener mayor fuerza adhesiva y adhesividad que el resto de las soluciones de gomas y suspensiones con almidón. En cuanto a las propiedades reológicas de los productos comerciales, el jarabe de maíz presentó un comportamiento de tipo newtoniano, mientras que los demás fueron adelgazantes a la cizalla. La leche condensada azucarada y el jarabe de chocolate presentaron una ligera tixotropía y en la cajeta muy intensa. Esta última con un índice de consistencia elevado y en consecuencia valores de viscosidad aparente considerablemente mayores que los demás productos en todo el intervalo de velocidad de cizalla. Las soluciones de gomas fueron más adelgazantes a la cizalla que los productos comerciales. La diferencia de viscosidad entre las soluciones de gomas y suspensiones con almidón no fue muy notoria.

Al tratar de relacionar las propiedades reológicas y adhesivas en los productos comerciales, la cajeta, por su viscosidad aparente e índice de consistencia

considerablemente mayores que los demás productos, causó problemas por lo que no se consideró. Es posible que si se analiza con otros productos con propiedades adhesivas pero con características reológicas más parecidas, se puedan encontrar algún tipo de correlaciones diferentes a las aquí mostradas. Un fenómeno similar se presentó con las soluciones de gomas y suspensiones con almidón, pero en este caso, las propiedades adhesivas de la CMC, que fueron superiores a las de los demás, impidieron incluirla en las ecuaciones que relacionaban propiedades reológicas y adhesivas. En todos los materiales en estudio, hubo una relación lineal directa entre la fuerza adhesiva y la adhesividad con la viscosidad a diferentes velocidades de cizalla. El índice de consistencia presentó diferente relación con las propiedades adhesivas en las soluciones de gomas, suspensiones con almidón y en los productos comerciales; en las soluciones de gomas y suspensiones con almidón, hubo una relación lineal directa, mientras que en los productos comerciales disminuye en forma potencial al aumentar la fuerza adhesiva o la adhesividad. Cabe aclarar que los resultados de las propiedades adhesivas son válidos para las condiciones bajo las que se efectuó la prueba ya que como se mencionó, la fuerza y tiempo de contacto, la velocidad de retirada, el material y dimensiones del dispositivo, la temperatura y las dimensiones de la muestra influyen en la magnitud de los parámetros y el tipo de falla, por lo que en pruebas de aplicación es recomendable efectuar las mediciones bajo las condiciones que más se aproximen a la forma de uso y consumo del producto en estudio.

Para evaluar a mayor profundidad la existencia de una relación entre propiedades adhesivas y de flujo, se recomienda trabajar con un mayor número de productos en los que se tenga una variación más amplia de propiedades reológicas y texturales de manera que se intente agruparlos en categorías para las cuales sean válidas diferentes relaciones. Dentro de los productos comerciales podrían considerarse: crema de cacahuete, mantequilla, margarina, mayonesa, crema batida, mermeladas, betunes, etc. y entre las soluciones de gomas y suspensiones con almidón, las mismas a diferentes concentraciones además de guar, algarrobo y mezclas de gomas. Otro aspecto importante a estudiar sería la relación entre las propiedades adhesivas y las propiedades viscoelásticas evaluadas por pruebas de cizalla oscilatoria.

Este estudio muestra que si se busca utilizar gomas y almidón para impartir propiedades adhesivas a algún producto, es importante considerar tanto sus propiedades de flujo como sus propiedades adhesivas y que existe una importante diferencia entre las propiedades adhesivas impartidas por las diferentes gomas. Un caso en el que es importante conocer este tipo de propiedades sería en productos bajos en calorías (jarabes, cajeta, betunes, mermeladas, leche condensada azucarada, etc.) en los que se sustituya parte del azúcar por edulcorantes artificiales y se utilicen gomas a fin de impartir viscosidad y propiedades adhesivas que se pierden al eliminar el azúcar.



## BIBLIOGRAFÍA

Almeida, H. y Rooney, L. 1997. Techniques for measuring the texture of alkaline cooked corn product. Nixtamal, masa tortilla, tortilla chips and taco shells. Cereal Quality Lab. Soil and Crops Science Department. Texas A. & M. University College Station. USA,.

Anónimo. 1998. The Texture Report. A Newsletter for the Academic and Commercial Clients of Texture Technologies Corp. 3.

Boyd y Sherman. 1975 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

Brennan y Mohamed. 1984 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

Dahlquist. 1989 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

DeMartine y Cussler. 1975 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

García Ramón - Pelayo y Gross. 1984. Gran Diccionario Español Inglés Larousse. Ediciones Larousse.

Jowit. 1974, en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. 29:81-100.

Muller H. G. 1977. Introducción a la Reología de los Alimentos. España. pp 13-15.

Navarro, A. S., Ferrero, C. y Zaritzky, N. E. 1999. Rheological characterization of "dulce de leche" by dynamic and steady shear measurements. J. Texture Stud., **30** (1), 43-58

Saunders y col. 1992 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. **29**:81-100.

Sosa-Herrea, M.G., Tecante A. y Doublier, J.L. 2001. Steady and small-deformation rheology of cross-linked waxy maize starch – gellan pastes and co-gels. Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food. I pp 514-518.

Szczesniak, S.A. 1962. Classification of textural characteristics. J. Food Sci. **28**:385-389.

Tecante A. y Doublier J. L., 1999. Steady flow and viscoelastic behavior of cross-linked waxy corn starch-k-carrageenan pastes and gels. Carbohydr. Polym. **40**:221-231.

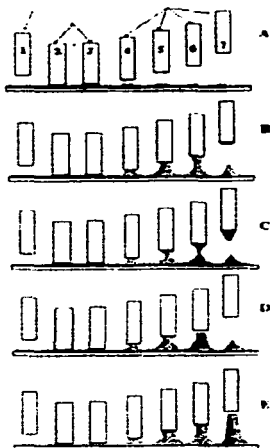
Texture Technologies, 2000. <http://www.texturetechnologies.com>

Tscheuschner y Markow. 1986 en Kilcast, D. y Roberts, C. 1998. Perception an measurement of stickiness in sugar-rich foods. J. Texture Stud. **29**:81-100.

William, F.H. y Morris H. 1969. New dimensions relating to the textural quality of semi-solid foods and ingredient systems. Food Tech. **23**:114-118.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO A1. Comportamiento de diferentes materiales en una prueba de adhesividad.**



Cohesivo > adhesivo

Cohesivo > adhesivo y se endurece con la deformación

Adhesividad > Cohesividad

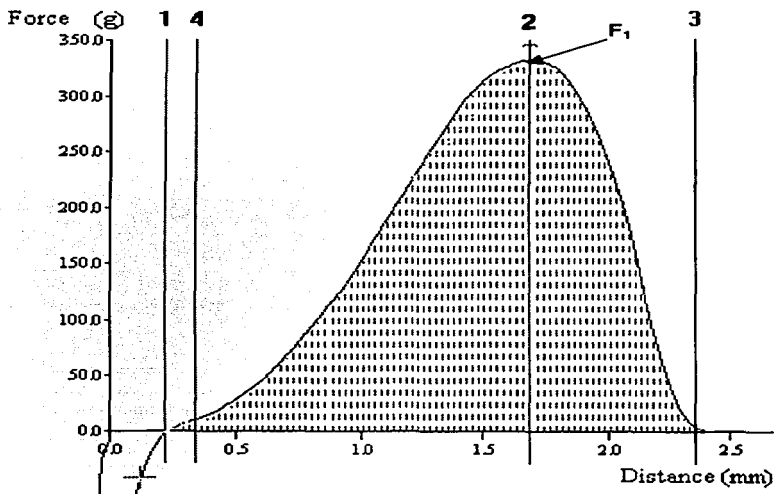
Cohesivo y adhesivo y se adelgaza

Cohesivo, se endurece con la deformación, medianamente cohesivo y deformable

1. Descenso del dispositivo
- 2 y 3. Aplicación de fuerza
- 4, 5, 6 y 7. Retirada del dispositivo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO A2. Ejemplo de una curva de adhesividad.



Force (g) = Fuerza (g)

Distance (mm) = Distancia (mm)

$F_1$  = Fuerza Adhesiva

Área 1:3 = Adhesividad

Distancia de 1:3 = Estiramiento del producto

Área de 1:2 = Área Adhesiva (Trabajo para vencer las fuerzas adhesivas)

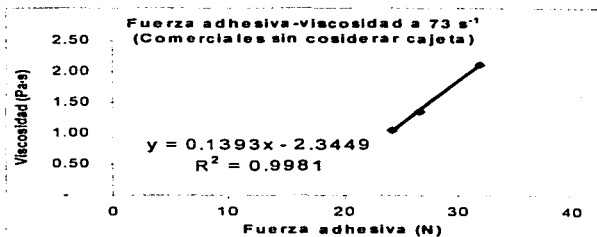
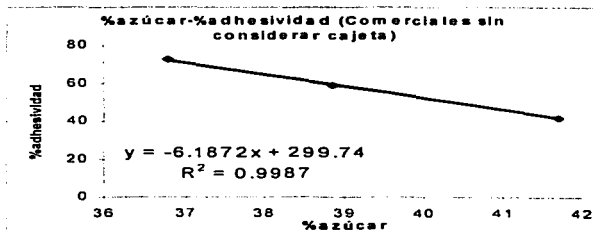
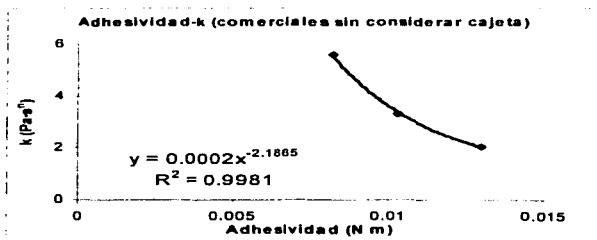
Área de 2:3 = Área cohesiva (Trabajo para vencer las fuerzas cohesivas)

Pendiente de 1:4 = Resistencia adhesiva inicial

Relación cohesión/adhesión = Área 2:3/Área 1:2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO A3. Relación entre propiedades adhesivas y reológicas de productos comerciales.**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ANEXO A4. Relación entre propiedades adhesivas y reológicas de soluciones de gomas y suspensiones con almidón.**

