

10529  
1



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FUNCIONALES,  
A TRAVÉS DE PRUEBAS TEXTURALES Y REOLÓGICAS  
DE INGREDIENTES SUSTITUTOS EN EL PROCESAMIENTO  
DE JARABE DE CHOCOLATE”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A :**

**MARINA AGUILAR GONZÁLEZ  
BENIGNO CHIMAL MANZANARES**

**ASESOR: I.A. MARÍA EUGENIA RAMÍREZ ORTIZ**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉX. ABRIL DE 2003.**



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**

**TESIS CON  
PUNTO DE VOTO**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes 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. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación de Propiedades Funcionales, a través de Pruebas  
Texturales y Reológicas de Ingredientes Sustitutos en el Proce-  
samiento de Jarabe de Chocolate"

que presenta la pasante: Marina Aguilar González  
con número de cuenta: 00000001 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 31 de Marzo de 2003

PRESIDENTE Dra. Laura Patricia Martínez Padilla

VOCAL I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal

SECRETARIO I.A. M. Guadalupe Jiménez Ortiz

PRIMER SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Sandra N. Rueda Enriquez



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
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. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicarle a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación de Propiedades Funcionales, a través de Pruebas Texturales y Reológicas de Ingredientes Sustitutos en el Procesamiento de Jarabe de Chocolate".

que presenta el pasante: Bonifacio Chimal Mancospos  
con número de cuenta: 9656676-9 para obtener el título de:  
Ingeniero 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 31 de Marzo de 2003

PRESIDENTE Dra. Laura Patricia Martínez Padilla

VOCAL I.B.Q. Leticia Figueroa Villareal

SECRETARIO I.A. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz

PRIMER SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Sandra M. Rueda Enriquez

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3

# *AGRADECIMIENTOS*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**MARY**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este trabajo es dedicado a mis **PADRES** por que solo la superación de mis ideales, me han permitido comprender cada día la difícil tarea de ser padres, mis conceptos, mis valores morales y mis superación se las debo a ustedes; esto será la mejor de las herencias, lo reconozco y lo agradeceré eternamente. En adelante pondré en práctica mis conocimientos y el lugar que en mi mente ocuparon los libros, ahora será de ustedes, por todo el tiempo que les robe pensando en mí "GRACIAS".

A ti **PAPÁ**,

Por tu cariño y comprensión, por que siempre tuve tu apoyo incondicional, por que me aportaste toda tu experiencia que ahora me evita cometer errores, ya que fuiste la persona que guió mis pasos y mi vida, por que siempre creíste en mí y principalmente por que soy muy afortunada ya que no siempre se tiene la fortuna de tener un padre como el mío ya que eres el mejor de los padres.

A ti **MAMÁ**,

Por que más que esto trabajo te debo mi vida que es lo más preciado que pudiste haberme dado, por que eres la mejor de las madres y siempre estas cuando lo necesito, por tu cariño, tu comprensión y tu apoyo sincero.

A ti **Norberto**,

Por el hecho de existir, por que fuiste y eres el punto final de este trabajo, por que si no hubieras existido tal vez este trabajo tampoco existiera, gracias por tu apoyo y tu amor incondicional. **J.E. AMO.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A ti Nuberta,*

*Por el hecho de existir, por  
que fuiste y eres el punto final de  
este trabajo, por que si no hubieras  
existido tal vez este trabajo  
tampoco existiera, gracias por tu  
apoyo y tu amor incondicional.  
T.E.A.M.C.*

*A la D.A. Marta Eugenia  
Ramírez,*

*Por toda el apoyo y  
dedicación hacia este trabajo y por  
tu amistad sincera.*

*A la Dra. Laura Patricia  
Martínez,*

*Por su colaboración y gran  
ayuda en la terminación de este  
trabajo.*

*A la FES Cuautitlán y  
profesores,*

*Por sus instalaciones y su  
gran enseñanza, por que toda la  
formación y aprendizaje que ahora  
tengo, lo aprendí de ustedes y esta  
será puesta en práctica día con día  
y siempre los recordare con cariño  
a cada uno de ustedes.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



*A la I. A. María Eugenia Ramírez,  
Por todo el apoyo y dedicación hacia  
este trabajo y por tu amistad sincera.*

*A la Dra. Laura Patricia Martínez,  
Por su colaboración y gran ayuda en la  
terminación de este trabajo.*

*A la IES Cuautitlán y profesores,  
Por sus insituciones y su gran  
enseñanza, por que toda la formación y  
aprendizaje que ahora tengo, lo aprendí de  
ustedes y esto será puesto en práctica día con  
día y siempre los recordare con cariño a cada  
uno de ustedes.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A mis Hermanos:*

*Rogelio,*

*Por que siempre tuvo tu apoyo y estuviste cuando más te necesito, creo que fueron tantas noches de desvelo que pasamos juntos que jamás podré pagarte ni olvidar esto, además de que eres el mejor diseñador de planos, por esto quiero que recuerdes algo: "Te quiero y te Amo".*

*Roberto,*

*Por el simple hecho de ser mi hermanito y por que te quiero demasiado.*

*Vicky,*

*Por ser la mejor de las hermanas y la mejor amiga, por haberme brindado tu ayuda cuando más lo necesito y por que te quiero.*

*A mis tíos Roberto y Beatriz,*

*Por que siempre conté con ustedes y les debo tanto; quiero que sepan que nunca hubiera logrado esto sin su gran biblioteca por que fue la mejor para mí. Por esto "GRACIAS".*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A mis abuelitas:*

*Marina y Victoria (†) por su gran ayuda,  
curiosidad y comprensión.*

*A Sibilia Y Elizabeth,*

*Por que son mis mejores amigos y  
por que siempre conté con ustedes, además de que este  
es un sueño no solo mío sino de las tres.*

*A Ana Luz Legado,*

*Por toda la ayuda que me has  
brindado y por tu amistad sincera.*

*A ti Benigno (mi hermanito) por ser el mejor  
de los amigos, creo que después de toda hicimos buen  
equipo y fue un placer el haber trabajado contigo.*

*A Tanny Lopez,*

*Por su gran amistad, ayuda y  
apoyo incondicional, por que sin una amiga como tú  
todo hubiera sido más difícil.*

*A Juan Carlos Cano,*

*Por que fuiste y eres un gran amigo  
el cual me enseña un desarrollo en el campo laboral y  
la mejor del caso me enseñaste a valorarme cada día  
más como persona y a creer en la vida.*

*A mis amigos de Facultad*

*(Jorge, Juan, Roy, Roberto, Nazario,  
Israel, David), Por haberme soportado tanto tiempo  
y por los momentos inolvidables que vivimos.*

*Y sobre todo no pueda olvidar dar gracias  
A mi DIOS Padre, por que es el que me ayuda  
día tras día y me da el valor suficiente para seguir  
adelante.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

***BENNO***

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A mi Madre:*

## HOMENAJE A LAS MADRES

*Cuando se habla de las madres tenemos la fácil tendencia, guiados por el egoísmo mas que por otra cosa, a pensar en la nuestra. Si se nos pide definición exacta de lo que una Madre es, lo primero que pensamos es en una señora que tiene hijos; pero si meditamos profundamente de manera que intervenga parte de nuestro sentimiento, en lo que la palabra significa: cambiamos la definición, añadiendole algo especial y particular nuestro, que indiscutiblemente viene al pensar en nuestra madre.*

*He tenido la osadía de sutillar sobre el concepto que debemos tener de lo que es una madre; y olvidando mi egoísmo, he pensado detenidamente, logrando como resultado coordinar estas ideas que aquí expreso.*

*Madre significa todo lo que voy a exponer y aun mucho mas.*

*Madre es un darse en amor -- en un amor imperecedero, edificado sobre pilares indestructibles, ya que se basa mayormente en una compenetración de todo en el hijo; cosa*

*que raras veces poseen los demás en la vida. Por eso, en este día consagrado para homenajearlas, quisiera enviarles a todas un mensaje que exprese en muy bellas palabras, la inmensa deuda de gratitud que para con ellas tenemos contraída -- y muy especialmente con la nuestra, por sus bondades incomparables y por sus comportamientos maternos para con nosotros, sus hijos.*

*Son las madres también, las que han sembrado los mas hondos afectos en nuestros profundos e insondables corazones. Los lazos que se forman al calor del amor maternal son cadenas irrompibles, que el tiempo, la distancia, los desaciertos del destino, las decepciones y las hondas pruebas de esta copa de amargura, jamás podrán romper.*

*"Que siempre vivan en el recuerdo nuestro cada día, y así habrá una frondosa quietud que permita regarse en nuestras almas mas copiosamente los gratos perfumes que puedan encontrarse en las regiones insondables del espíritu nuestro, para darnos así a nuestras madres."*

*Bienaventurados sean todas las madres, ya que el tiempo, ni la distancia logran cambiarlas, porque ellas tienen su sitio destinado en el corazón de aquellos que con ellas conviven y dan todo lo que tienen sin esperar nada.*

*A Dios le pido que derrame su Santa Bendición sobre todas las madres y que glorifique sus santos y benditos nombres.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**A mi Padre:**

## **Carta de un hijo a su padre**

*No me des todo lo que te pida. A veces sólo te pido para ver hasta cuánto puedo tomar.*

*No me grites. Te respeto menos cuando lo haces, me enseñas a gritar a mi también y no quiero hacerlo.*

*No me des siempre órdenes, yo haría las cosas más rápido y con más gusto.*

*Cumple tus promesas, buenas o malas. Si me prometes un premio, dámelo, pero también si es un castigo.*

*No me compares con nadie, especialmente con mi hermano o hermana, si me haces lucir mejor que los demás alguien va a sufrir y si me haces lucir peor, seré yo quien sufra. No cambies tu opinión tan a menudo sobre lo que debo hacer, decídate y mantén esa decisión. Déjame valerme por mí mismo. Si tú haces todo por mí, yo nunca podré aprender.*

*No digas mentiras delante de mí, ni siquiera para evitarme un castigo, me enseñas a mentir.*

*No me pidas que mienta por ti, aunque fuere para sacarte de un apuro, me haces sentir mal y perder la fe en lo que dices. Cuando hago algo malo, no me exijas que te diga él "por qué lo hice", a veces ni yo mismo lo sé.*

*Cuando estés equivocado en algo, admítelo, crecerá la opinión que tengo de ti y me enseñarás a reconocer mis equivocaciones.*

*Trátame con la misma amabilidad y cordialidad con que tratas a tus amigos, ya que porque somos familia, no quiere decir que no podamos ser amigos.*

*No me pidas que haga una cosa si tú no la haces. Yo aprenderé y siempre haré lo que tú hagas, aunque no lo digas, pero nunca haré lo que tú digas y no hagas.*

*Cuando te cuente un problema mío, trata de comprenderme y ayudarme, y no digas "no tengo tiempo para tonterías" o "eso no tiene importancia". Quiéreme y dimelo. A mí me gusta oírte decir, aunque tú no lo creas necesario.*

*¡Abrazame!, necesito sentirte mi amigo y compañero a toda hora.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Para Haydé:*

## ***Te quiero...***

Primero pensé en ti, cuando por fin me quedé dormido, soñé contigo, y al despertar, de nuevo, pensé en ti. Y así un día después de otro, intentando comprender la historia de tu corazón, intentando sentir lo que tu has sentido.

Imposible de evaluar tanto amor en tus manos, en tu corazón, en tu mente. Tanto amor ahogado en lágrimas, tantas lágrimas ahogadas en silencio, tanto silencio ahogado en incompreensión.

Todo y todos te indican cual es tu puesto, cual es la dirección que debes tomar. Y tu, tan solo tu, sacas valor y determinación para ponerte en el sitio que tu has elegido, para seguir el camino que marca tu corazón.

Te quiero princesa mía, te quiero con toda mi alma, te quiero por todo lo que tu amas, te quiero por todo lo que has sentido, te quiero por cada una de las lágrimas que se han escapado de tus ojos, te quiero por todos y cada uno de los silencios, y por todas y cada una de tus palabras.

Te quiero, no por lo que hayas sido, por lo que seas ni por lo que serás, sino por la sensibilidad de tu alma, por el valor de tu espíritu, por el dolor de tu corazón. Te quiero vayas a donde vayas. Seguramente, es mas fácil para mi decirlo ahora que hace unos días. Quizás una palabra haya borrado mil tabúes.

Te quiero, aún mas, por el dolor que, a tu corazón, ha de llegar, por las lágrimas que tus ojos aún deberán derramar, y por toda la incompreensión que tus oídos habrán de escuchar.

No te rindas, princesa mía, el dolor y el sufrimiento son los compañeros habituales de casi todas las personas. Un corazón que sufre, siempre reconoce y comprende con mas facilidad a otro corazón que sufre. Esto me lo has demostrado tu a mi en muchas ocasiones, y quizás ahora te lo puedo mostrar yo a ti.

No te rindas, princesa mía. Cuando llegan las Rosas, para gente como tu, éstas son mucho mas brillantes, mucho mas frescas, mucho mas hermosas. Y las Rosas llegan..., siempre llegan...

Nunca vienen cuando se las llama a gritos, ni cuando las necesitamos con mas urgencia, ni siquiera cuando las vamos a buscar. Simplemente llegan.

Y la felicidad, durante ese tiempo que permanecen con nosotros, es infinita...

Soy muy lento para quitarme la ropa, pero cuando el Mar merece la pena, en absoluto me importa lanzarme al agua y mojarme.

Princesa mía te quiero mucho, cuenta siempre conmigo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A Dios:*

Te agradezco dejarme vivir  
y permitirme terminar  
mi carrera.

*A Marú:*

Por su ayuda, comprensión,  
y BRINDARME SU AMISTAD  
durante estos años.

*A la Dra. Laura Patricia:*

Por su respaldo para la terminación  
de la tesis, tiempo dedicado y la  
confianza brindada.

*A Marina:*

Por todo los momentos que compartimos al realizar este  
trabajo, se nos compensará con triunfos. Mucha suerte en  
esta nueva etapa.

*A mi Hermana y mis Sobrinos (Erika, Oscar  
y Erick):*

Por todo su cariño, amor y apoyo.  
Los quiero mucho.

*A mis Abuelos (Luisa\* y Alfonso\*, Benigno y  
Modesta):*

Gracias por todo su apoyo y cariño.

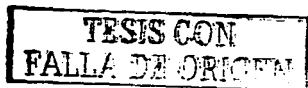
*A mis Tios:*

Por creer en mí y por alentarme a seguir  
adelante.

*A mis Amigos (David, Roberto, Juan, Luz,  
Krisna, Marcos y Angelica):*

Por toda su ayuda y amistad  
incomparable, durante la carrera.

**GRACIAS A TODOS  
POR SU CARIÑO Y AMOR.**





## INDICE GENERAL

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| RESUMEN   | i             |
| INTRODUCCIÓN  | ii            |
| CAPITULO 1. MARCO DE REFERENCIA   |               |
| 1.1 TEXTURA   | 1             |
| 1.1.1 Definición.   | 1             |
| 1.1.2. Propiedades de textura de los alimentos.   | 1             |
| 1.1.3. Tipos de pruebas para la evaluación de las propiedades mecánicas de los alimentos. | 4             |
| 1.1.4. Definiciones físicas y sensoriales de atributos de textura.                        | 8             |
| 1.1.5. Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura.                              | 9             |
| 1.1.6. Control de la prueba para consistencia y adhesividad.                              | 12            |
| 1.1.7. Terminología empleada en las pruebas de consistencia.                              | 12            |
| 1.2 REOLOGÍA  | 13            |
| 1.2.1. Definición.  | 13            |
| 1.2.2. Propiedades de flujo.  | 14            |
| 1.2.3. Reología del chocolate.  | 18            |
| 1.3. MÉTODOS Y DISEÑOS DE SUPERFICIES DE RESPUESTAS                                       | 19            |
| 1.3.1. Método de máxima pendiente en ascenso.   | 20            |
| 1.3.2. Análisis de modelos cuadráticos.   | 20            |
| 1.3.3. Diseños experimentales para ajustar superficies de respuesta.                      | 21            |
| 1.3.3.1. Diseños para ajustar al modelo de primer orden.                                  | 21            |
| 1.3.3.2. Diseños para ajustar el modelo de segundo orden.                                 | 21            |
| 1.3.3.3. Formación de bloques en diseños de superficies de respuesta.                     | 22            |
| 1.3.4. Diseño de mezclas.   | 22            |
| 1.4 SUSTITUTOS  | 28            |
| 1.4.1 Emulsificantes  | 28            |
| 1.4.1.1 Lecitina de Soya  | 28            |
| 1.4.1.1.1. Usos   | 29            |
| 1.4.2 Agentes espesantes  | 30            |
| 1.4.2.1. Carragenina  | 31            |
| 1.4.2.1.1. Propiedades funcionales.   | 33            |
| 1.4.2.1.2. Usos   | 33            |
| 1.4.2.2. Xantana  | 33            |
| 1.4.2.2.1. Propiedades funcionales.   | 35            |
| 1.4.2.2.2. Usos   | 35            |
| 1.4.2.3. Alginato   | 35            |
| 1.4.2.3.1. Propiedades funcionales.   | 37            |
| 1.4.2.3.2. Usos   | 37            |
| 1.4.2.4. Goma arábiga   | 38            |
| 1.4.2.4.1. Propiedades funcionales.   | 38            |
| 1.4.2.4.2. Usos   | 39            |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

|  |     |
|--|-----|
| 1.5 EDULCORANTES   | 39  |
| 1.5.1. Sacarosa  | 40  |
| 1.5.2. Edulcorantes artificiales                                     | 41  |
| 1.5.2.1. Acesulfame k  | 42  |
| 1.5.2.2. Aspartame   | 43  |
| 1.6. AGENTE DE VOLUMEN   | 44  |
| 1.6.1. Maltodextrina (amidx)   | 44  |
| 1.6.1.1. Beneficios  | 45  |
| 1.7. FUNCIÓN DE LOS INGREDIENTES                                     | 46  |
| 1.7.1. Edulcorantes  | 46  |
| 1.7.2. Jarabe de Glucosa   | 46  |
| 1.7.3. Cocoa   | 46  |
| 1.7.4. Agua  | 47  |
| 1.7.5. Benzoato de sodio   | 47  |
| 1.7.6. Vainilla  | 48  |
| 1.7.7. Sal   | 48  |
| 1.8. JARABE DE CHOCOLATE   | 48  |
| 1.8.1. Introducción  | 48  |
| 1.8.2. Definición  | 49  |
| 1.8.3. Composición química   | 50  |
| 1.8.4. Valor nutritivo del chocolate                                 | 51  |
| 1.8.5. Características físicas y reológicas                          | 51  |
| CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS                                    | 53  |
| 2.1. OBJETIVOS   | 53  |
| 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN                              | 55  |
| 2.3. FORMULACIONES   | 56  |
| 2.4. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACIÓN DE JARABE DE CHOCOLATE  | 59  |
| 2.4.1. Descripción del proceso de elaboración de jarabe de chocolate | 60  |
| CAPITULO III. RESULTADOS   |     |
| 3.1. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS                             | 66  |
| 3.1.1. Resultados de consistencia                                    | 66  |
| 3.1.2. Resultados de adhesividad                                     | 78  |
| 3.1.2.1. Adhesividad   | 81  |
| 3.1.2.2. Fuerza adhesiva   | 86  |
| 3.1.2.3. Extensibilidad  | 90  |
| 3.1.3. Propiedades de flujo  | 94  |
| CAPITULO IV. CONCLUSIONES  | 103 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS   | 106 |
| ANEXO  | 110 |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA |  | PÁGINA |
|--------|--|--------|
| 1      | Clasificación de atributos de textura en función de las propiedades físicas del material.  | 1      |
| 2      | Clasificación de los atributos de textura en función del orden de percepción durante el consumo.   | 2      |
| 3      | Clasificación de los fluidos   | 17     |
| 4      | Espacio factorial restringido para mezclas con (a) $p = 2$ componentes y (b) $p = 3$ componentes.  | 23.    |
| 5      | Sistema coordenado trilineal.  | 24     |
| 6      | Algunos diseños de red simplex para $p = 3$ y $p = 4$ componentes.   | 25     |
| 7      | Diseños de centroide simplex con tres y cuatro componentes (a) $p = 3$ , (b) $p = 4$ .   | 26     |
| 8      | Estructuras químicas de los tres mayores fosfatidos: A, fosfatidilcolina; B, fosfatidiletanolamina; C, fosfatidilinositol. X, uno o más grupos de fosfatidos enlazado con una o más moléculas de azúcar; R, R', constituyentes de ácidos grasos. | 29     |
| 9      | Estructura de las carrageninas: Kappa, Iota y Lambda.  | 32     |
| 10     | Estructura de la xantana.  | 34     |
| 11     | Estructura del ácido algínico (A) polimannurónico y (B) poli L-gulurónico.   | 36     |
| 12     | Estructura de la sacarosa.   | 40     |
| 13     | Estructura del acesulfame K.   | 42     |
| 14     | Proyecciones de Fisher y la configuración de la D- y L- asparagina.  | 43     |
| 15     | Variación de propiedades de amidex según su Dextrosa Equivalente.  | 45     |
| 16     | Cuadro metodológico del desarrollo experimental durante este trabajo de tesis  | 54     |
| 17     | Diagrama de bloques para la elaboración de jarabe de chocolate   | 59     |
| 18     | Curva típica de consistencia y adhesividad   | 64     |
| 19     | Diagrama fuerza-distancia de los jarabes de chocolate (patrón y con distintas cocoas).   | 66     |
| 20     | Diagrama fuerza-distancia de los jarabes de chocolate (patrón y sustituyendo a los edulcorantes).  | 67     |
| 21     | Diagrama fuerza-distancia de los jarabes de chocolate (patrón y adicionando los polisacáridos).  | 67     |
| 22     | Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el texturómetro TA-XT2.   | 73     |
| 23     | Comportamiento de la consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el texturómetro TA-XT2.   | 73     |
| 24     | Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el consistómetro de Bostwick.   | 74     |
| 25     | Comportamiento de la consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el consistómetro de Bostwick.   | 74     |
| 26     | Comportamiento de la consistencia en 2-D de los jarabes de chocolate con polisacáridos en el consistómetro de Bostwick.  | 75     |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

---

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 27 | Comportamiento de la consistencia en 3-D de los jarabes de chocolate con polisacáridos en el consistómetro de Bostwick. | 76  |
| 28 | Comportamiento de la consistencia en 2-D de los jarabes de chocolate con polisacáridos en el texturómetro TA-XT2.       | 77  |
| 29 | Comportamiento de la consistencia en 3-D de los jarabes de chocolate con polisacáridos en el texturómetro TA-XT2.       | 77  |
| 30 | Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y con distintas cocoas).                                  | 79  |
| 31 | Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y sustituyendo a los edulcorantes).                       | 79  |
| 32 | Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y adicionando los polisacáridos).                         | 80  |
| 33 | Comportamiento de adhesividad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.  | 82  |
| 34 | Comportamiento de adhesividad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.  | 83  |
| 35 | Comportamiento de adhesividad en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.   | 84  |
| 36 | Comportamiento de adhesividad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.   | 84  |
| 37 | Comportamiento de fuerza adhesiva en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.                                      | 87  |
| 38 | Comportamiento de fuerza adhesiva en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.                                      | 88  |
| 39 | Comportamiento de fuerza adhesiva en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.                                     | 89  |
| 40 | Comportamiento de fuerza adhesiva en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.                                     | 89  |
| 41 | Comportamiento de extensibilidad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.                                       | 92  |
| 42 | Comportamiento de extensibilidad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.                                       | 92  |
| 43 | Comportamiento de extensibilidad en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.                                      | 93  |
| 44 | Comportamiento de extensibilidad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.                                      | 93  |
| 45 | Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con dos distintas cocoas.  | 95  |
| 46 | Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con edulcorantes.  | 96  |
| 47 | Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con polisacáridos.   | 98  |
| 48 | Comportamiento de viscosidad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.   | 99  |
| 49 | Comportamiento de viscosidad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.   | 100 |
| 50 | Comportamiento de viscosidad en 2-D de jarabes de chocolate con   |     |

---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

|    |  |     |
|----|--|-----|
|    | polisacáridos.   | 101 |
| 51 | Comportamiento de viscosidad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos. | 101 |

### INDICE DE CUADROS

| <u>CUADRO</u> |  | <u>PÁGINA</u> |
|---------------|--|---------------|
| 1             | Porcentaje de ingredientes utilizados en la elaboración del jarabe de chocolate.                                     | 56            |
| 2             | Diseño experimental obtenido para edulcorantes.  | 56            |
| 3             | Cantidades utilizadas de sacarosa, edulcorantes sustitutos y maltodextrina para los jarabes de chocolate elaborados. | 57            |
| 4             | Diseño experimental obtenido para polisacáridos.   | 58            |
| 5             | Datos de consistencia obtenidos en el texturómetro TA-XT2.   | 68            |
| 6             | Datos de consistencia obtenidos del consistómetro de Bostwick.   | 69            |
| 7             | Datos de adhesividad obtenidos en el texturómetro TA-XT2.  | 81            |
| 8             | Datos de fuerza adhesiva obtenidos en el texturómetro TA-XT2.  | 86            |
| 9             | Datos de extensibilidad obtenidos en el texturómetro TA-XT2.   | 90            |
| 10            | Resultados de comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con dos cocoas.               | 95            |
| 11            | Resultados de comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con edulcorantes.             | 97            |
| 12            | Resultados de comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con polisacáridos.            | 98            |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## **RESUMEN**

Este trabajo se realizó con la finalidad de estudiar las propiedades funcionales de algunos ingredientes sustitutos (edulcorantes de alta intensidad y polisacáridos) en algunas propiedades reológicas y texturales del jarabe de chocolate. Lo que se buscó principalmente con la utilización de sustitutos, es obtener un jarabe de chocolate bajo en calorías con características reológicas y texturales similares a las de un jarabe comercial normal y así poder obtener un producto aceptable y ampliar las opciones del consumidor, disminuyendo el número de formulaciones utilizadas.

Con base en esto se elaboraron diferentes jarabes de chocolate utilizando, por un lado edulcorantes (sacarosa, acesulfame k y aspartame), en proporciones que dependen del poder edulcorante de cada uno, con respecto al porciento de sacarosa utilizada en la formulación; y por otro, polisacáridos (alginato, goma arábica, carragenina y xantana), a diferentes proporciones a una concentración constante (1%), utilizando sacarosa como edulcorante. Los jarabes elaborados fueron evaluados bajo las mismas condiciones y pruebas que el jarabe de chocolate comercial.

Para esto fue necesario realizar una serie de pruebas texturales a cada jarabé de chocolate elaborado para conocer el comportamiento de parámetros como consistencia, adhesividad, fuerza adhesiva y extensibilidad; pruebas reológicas para conocer el modelo de fluido que sigue el jarabe de chocolate y los parámetros que lo definen, correspondientes a cada tipo de fluido. Se aplicó un tratamiento estadístico (diseño de mezclas) que sirvió para evaluar la función de los sustitutos, además de proveer una aproximación a la mejor formulación por medio de pocos experimentos, así como una representación del comportamiento que se hace por medio de un gráfico en tres dimensiones y una ecuación de predicción para cada parámetro evaluado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **INTRODUCCIÓN**

Esta tesis está organizada en 3 capítulos: I. Marco de Referencia, II. Metodología y III. Resultados. El primer capítulo constituye los fundamentos de las pruebas de Reología y Textura en las que se incluye, Consistencia y Adhesividad; así como el método estadístico, y por tanto, exige un entendimiento profundo y extenso. El segundo capítulo es ligeramente más selectivo en la presentación del diagrama de bloques y formulaciones a utilizar en el Jarabe de Chocolate y el último capítulo es donde se registran los datos obtenidos y asimismo, se realiza el análisis de éstos para dar así la proposición de la formulación óptima llegando con ello a la conclusión del trabajo elaborado.

En la industria en general, el estudio de las propiedades de los materiales se ha vuelto relevante por la creciente necesidad de que éstos satisfagan requerimientos específicos de desempeño (propiedades térmicas, mecánicas, ópticas, electromagnéticas, etc.) para aplicaciones particulares como: electrónica, construcción, recubrimientos, adhesivos, transportes, espaciales y aeronáutica, medicina, alimentos, empaques, etc. Por mencionar algunos ejemplos tenemos a los superconductores, aleaciones con memoria de forma, etc.

En cuanto a las propiedades mecánicas, éstas se refieren a la manera en que los materiales responden a la aplicación de fuerzas, a consecuencia de las cuales se deforman o fluyen en función del tiempo. La medición de esta respuesta constituye el campo de *la Reología y la Textura* (Casas y Ramirez, 1998).

La textura es la forma en que los componentes estructurales de un alimento se ordenan en una micro y macro estructura y la manifestación externa de ésta. Además de ser un atributo que indudablemente desempeña un papel importante, junto con el sabor y el aspecto, en la apreciación de la calidad de los alimentos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las mediciones instrumentales de la textura son necesarias para describir las propiedades texturales en términos numéricos, de forma que tanto para los aspectos fundamentales como los aplicados pueden definirse y estudiarse cuantitativamente.

El estudio de la Reología de los Alimentos es útil en los materiales sin preparar, productos intermedios, y productos finales de la industria de alimentos. En esta definición el término "industria de alimentos" puede ser tan extensamente definido para incluir el comportamiento de los alimentos en la casa (Bourne, 1982).

La Reología tiene varias aplicaciones en el campo de aceptabilidad de los alimentos, procesamiento de los mismos. Un número de operaciones de procesamientos de alimentos depende fuertemente de las propiedades reológicas del producto en una etapa intermedia de la manufactura. Ya que ésta tiene un efecto profundo sobre la calidad de los productos terminados, por ejemplo, la Reología de masa de pan, leche cuajada, y emulsiones de carne son aspectos importantes en la manufactura en la alta calidad del pan, queso, y productos embutidos (Bourne, 1982; Tanner, 1985, 2000).

La Tecnología de Alimentos se necesita para definir y medir ciertas propiedades reológicas de alimentos, pero es interesante cuando la ciencia clásica de la reología es una ayuda pequeña en estos estudios de las propiedades texturales de los alimentos y son, por lo tanto, forzados a desarrollar éstas otras técnicas (Bourne, 1982).

El hecho de que existe una amplia variedad de jarabes de chocolate elaborados con ingredientes cuya proporción también fluctúa ampliamente, nos facilita entender el porque es de útil importancia plantear e iniciar con el estudio de Textura y Reología de jarabe de chocolate; así como, surge la necesidad de tener la innovación de nuevos productos y métodos de desarrollo.

Es por esto que se decidió reunir los conceptos más relevantes sobre el área de Reología y Textura y aplicarlos de cierta forma a un alimento que en este caso es el Jarabe de Chocolate, con la finalidad de estudiar el comportamiento que éste presenta, tomando en cuenta que el chocolate

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



es un poco inusual por lo que se considera un alimento diferente, que es importante para la Ciencia de los Alimentos ya que lo podemos encontrar en estado sólido y líquido.

El chocolate fue dirigido a ocupar una posición bastante aislada en el mundo de la Reología de los alimentos, casi como si la Reología del chocolate fuera un estudio separado. Entonces si no hay una razón lógica para esto, el chocolate es justo otro fluido cuyas propiedades son determinadas por su estructura. Verdaderamente, no es muy diferente de los purés de fruta: es más pastoso que fluido, teniendo alto contenido de materia sólida en suspensión. La mayoría de las diferencias de puré, es que mientras esta fase líquida es una solución acuosa cuya viscosidad es usualmente baja, en el chocolate la fase líquida es una grasa sólo unos cuantos grados sobre el punto de fusión y es una viscosidad considerablemente más alta (Prentice, 1984).

El principal objetivo de la tesis es conocer las propiedades funcionales de los sustitutos [polisacáridos (alginato, goma arábica, carragenina y xantana), edulcorantes (acesulfame k y aspartame) y sus interacciones] para evaluar la función que realizan en el Jarabe de Chocolate bajo en calorías y proponer la mezcla de estos componentes en una formulación óptima.

# ***CAPÍTULO I. MARCO DE REFERENCIA***

## **1.1. TEXTURA**

### **1.1.1. Definición**

La palabra *Textura* proviene del latín *Textura – téxture* que significa *tejer*. El diccionario define a ésta, como:

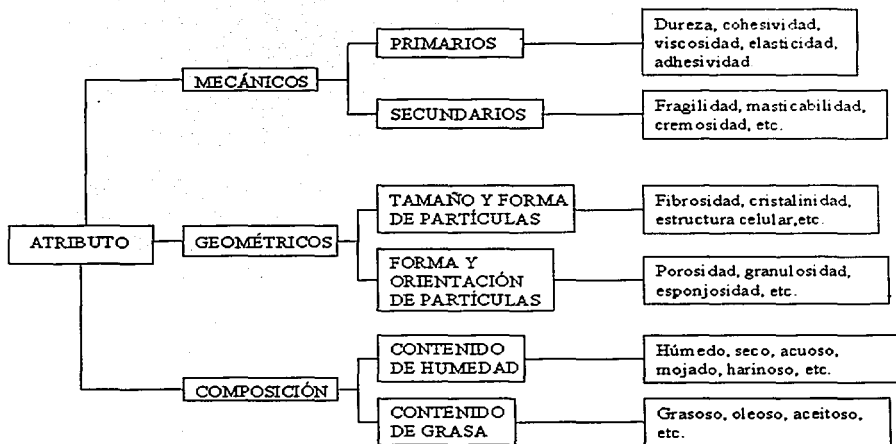
*Propiedades dimensionales y morfológicas de los componentes de un cuerpo o material* (Casas & Ramírez, 1998).

### **1.1.2. Propiedades de Textura de los Alimentos.**

Las propiedades o características de *Textura* han sido clasificadas en función de las propiedades físicas del material como lo muestra el figura 1 en atributos mecánicos, geométricos y de composición; sin embargo, se pueden clasificar también por el orden en que se perciben durante su consumo (figura 2) en atributos de percepción inicial, percepción inicial en el paladar, de masticación y residual. Los atributos en realidad son los mismos pero cada clasificación los ubica de forma diferente (Casas & Ramírez, 1998).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PAGINACIÓN  
DISCONTINUA**



**FIGURA 1.** Clasificación de atributos de textura en función de las propiedades físicas del material.

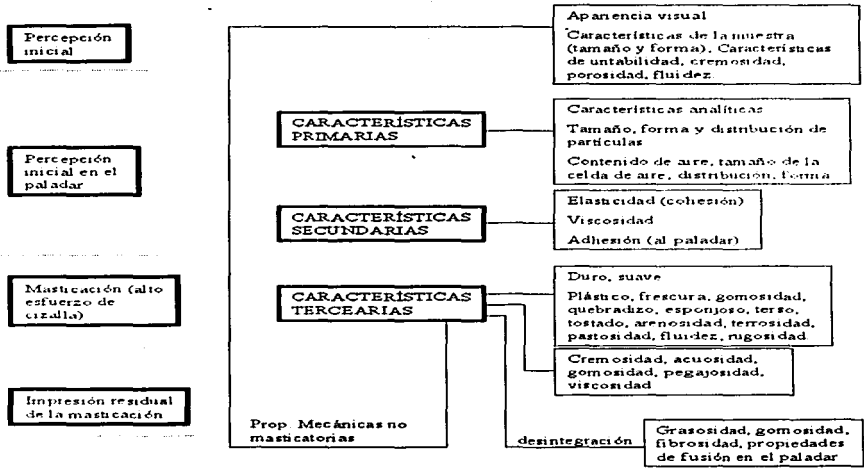


FIGURA 2. Clasificación de los atributos de textura en función del orden de percepción durante el consumo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los atributos mencionados se utilizan para reportar los resultados de la evaluaciones de Textura tanto instrumentales como sensoriales y para tener una idea más clara de lo que cada atributo describe. Se definen a continuación desde el punto de vista físico y sensorial algunos de ellos. La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implemente a nivel instrumental mientras que la definición sensorial está descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo durante el consumo.

Las definiciones de atributos mecánicos pueden definirse a nivel general, ya que la mayoría de los productos los presentan, sin embargo los atributos geométricos y de composición son específicos para algunos productos como lácteos y productos grasos y sus definiciones están dadas en función de productos particulares (Casas & Ramírez, 1998).

### **1.1.3. Tipos de pruebas para la evaluación de las propiedades mecánicas de los alimentos**

El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales se efectúa a través de diferentes tipos de pruebas:

**Fundamentales:** a través de éstas se obtienen las funciones materiales, o sea, aquellas que sólo dependen del material y no del instrumento y el método. Los resultados se expresan en términos de potencia de masa, longitud y tiempo y todas las variables son conocidas y controladas. En materiales complejos, una prueba fundamental puede arrojar 10 parámetros o más.

Estos métodos son usados principalmente en investigación básica y requieren por lo general de instrumentos sofisticados y costosos, en especial para materiales de estructura y comportamiento complejo. Se utilizan viscosímetros y reómetros. Se recurre a estas pruebas como apoyo o complemento para determinar la estructura de los materiales, cuando se quiere caracterizar rigurosamente el comportamiento del mismo, para estudios básicos relacionados con otras características del material (punto de gelificación), para diseño, selección y control de

equipo de proceso y en algunos casos para cuestiones de desarrollo de productos, procesos, proveedores, control de calidad. Una prueba fundamental pierde validez si no se controlan aspectos como el manejo previo de la muestra y la historia de la misma (Bourne, 1982).

**Empíricas:** Son aquellas que se efectúan con instrumentos que con frecuencia son diseñados o contruidos para un material específico, por lo que los resultados son función del instrumento, el método, la carga aplicada, la velocidad de aplicación de la carga, la geometría, dimensiones y orientación de la muestra y las condiciones, lo que ocasiona que no sean reproducibles ni puedan expresarse en términos de cantidades reológicas fundamentales (potencias de masa, longitud y tiempo). Los instrumentos utilizados son sencillos y económicos (Bourne, 1982).

Estas pruebas arrojan como resultado generalmente un solo dato (distancia, fuerza, área, tiempo, velocidad). Las variables que intervienen no siempre son conocidas ni controladas. Los que originan son en ocasiones específicos para un tipo de material, no están perfectamente definidos (dureza, cohesividad, adhesividad, pegajosidad) y es difícil encontrar traducciones de un idioma a otro. Son válidos y comparables solo bajo el mismo instrumento, método, condiciones y geometría de la muestra. Son ampliamente utilizados en la industria (alimentos, recubrimientos, materiales de construcción, petroquímica, farmacia, alimentos) (Casas & Ramírez, 1998).

En las pruebas empíricas, los materiales son sujetos a una deformación bajo compresión, tensión, penetración, corte, flujo, extrusión o combinaciones de éstas. Como ejemplos de este tipo de instrumentos podemos mencionar. Los penetrómetros como el Penetrómetro Universal inicialmente diseñado para ceras y otros derivados del petróleo y cuyo uso se ha extendido a otras áreas como alimentos y productos farmacéuticos. El gelómetro de Bloom para grenetinas, el ridgelfmetro para pectinas, el consistómetro de Bostwick para salsas, purés, jarabes, el aparato de Warner-Bratzler (carnes), el tenderómetro (chícharos), la Prensa Kramer (varios alimentos), los fibrómetros, etc (Bourne, 1982).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Imitativas:** Son aquellas que tratan de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, etc.) y asume que las fuerzas de reacción desarrolladas por la muestra representan las reacciones humanas. Los movimientos complicados y los complejos esfuerzos desarrollados hacen imposible el análisis teórico de los resultados (Bourne, 1982; De Man, 1979).

De la misma forma que en las pruebas empíricas, influyen las dimensiones, forma, orientación del material, el dispositivo utilizado para la aplicación de los esfuerzos, el procedimiento, etc. Dentro de estos instrumentos podemos mencionar: los untómetros para mantequilla, el farinógrafo y amilógrafo para masas, el tenderómetro de mandíbula de Volodkevich, el tenderómetro de dentadura del Massachusetts Institute Technologic (el cual ofrece la ventaja de que mide un espectro de parámetros más que una característica aislada). Este último se utilizó como prototipo para la construcción de una unidad modificada para la medición de textura llamada **texturómetro** (General Food Texturometer), en el cual se sustituyó la mandíbula por un embolo (superior) y una placa (inferior) y se le adicionó con varias velocidades de *masticación*. Este finalmente fue adaptado a la Máquina Universal de Deformación INSTRON (Bourne, 1982; De Man, 1979).

El acelerado avance de la electrónica y la computación ha permitido el desarrollo de los modernos texturómetros para alimentos, que son más compactos que la Máquina Universal de Deformación INSTRON y operan bajo el mismo principio que ésta y sus antecesoras. En todas éstas, a velocidad controlada, se establece una deformación del material y se mide como respuesta del mismo la fuerza en función del tiempo o viceversa. Los texturómetros cuentan con una amplia variedad de dispositivos de prueba (conos, placas, agujas, cilindros, esferas, cuchillas, celdas de corte y extrusión, etc.) y efectúan las pruebas ya sea bajo tensión y compresión (De Man, 1979).

Como puede verse, las pruebas empíricas e imitativas proporcionan herramientas para evaluar las propiedades texturales de manera instrumental y objetiva. Asimismo se han encontrado excelentes correlaciones entre los parámetros texturales y las pruebas sensoriales de textura (De Man, 1979).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Sensoriales:** El perfil de textura es definido como: "*el análisis organolépticos del complejo de la textura de un alimento en términos de sus características mecánicas, geométricas, de grasa y humedad, el grado de cada característica presenta y el orden en que ellas aparecen desde la primera mordida a través de la masticación completa*" (Bourne, 1982; De Man, 1979).

La textura es importante para la tecnología de alimentos por lo que tiene muchas aplicaciones en las tres mayores categorías en la aceptación de alimentos:

1. *Apariencia.* Este es un componente pequeño de la textura en apariencia por que cierta estructura y propiedades mecánicas de algunos alimentos puede ser determinada por la apariencia; por ejemplo, nosotros podemos ver en el plato como fluye este alimento.
2. *Sabor.* la textura no forma parte directa en esta categoría, aunque el modo en que el alimento se colapsa en la boca puede afectar la forma en que se liberan los componentes del sabor.
3. *Tacto.* Las propiedades texturales son un factor importante en la evaluación de la calidad de los alimentos por el sentido del tacto. Tenemos alimentos en la mano y se siente la deformación y recuperación después de apretar frecuentemente para obtener una idea de esta calidad textural. Por ejemplo, el pan fresco es altamente deformable mientras el pescado rancio no lo es. Durante el proceso de masticación un número de propiedades reológicas tales como la deformación que ocurre en la primera mordida y las propiedades de flujo del **bolus** (la masa de alimentos masticados con saliva) son sentidos en la boca (Bourne, 1982).

Los atributos mencionados se utilizan para reportar los resultados de la evaluaciones de textura tanto instrumentales como sensoriales y para tener una idea más clara de lo que cada atributo describe se definen a continuación desde el punto de vista físico y sensorial algunos de ellos. La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implemente a nivel instrumental mientras que la definición sensorial está descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo durante el consumo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las definiciones de atributos mecánicos pueden definirse a nivel general, ya que la mayoría de los productos los presentan, sin embargo los atributos geométricos y de composición son específicos para algunos productos como lácteos y productos grasos y sus definiciones están dadas en función de productos particulares (Casas & Ramírez, 1998).

#### **1.1.4. Definiciones físicas y sensoriales de atributos de textura**

##### **□ CONSISTENCIA:**

*Física:* Fuerza necesaria para una deformación dada.

*Sensorial:* Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólido) o entre la lengua y el paladar (semisólidos).

##### **□ VISCOSIDAD:**

*Física:* Tasa de flujo por unidad de fuerza.

*Sensorial:* Fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.

##### **□ ADHESIVIDAD:**

*Física:* Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.

*Sensorial:* Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante su consumo.

Dependerá de las características del trabajo que se desarrolle que se implementen este tipo de pruebas. en el caso de desarrollo de nuevos productos las pruebas sensoriales son determinadas para la aceptación de un producto, y es el juez y no una máquina quién decidirá si un producto le agrada o no. Pero en el caso de otras aplicaciones como control de proceso y calidad en realidad no se justifica el empleo de un panel de jueces y se vuelven más prácticas las pruebas empíricas e imitativas. Se han realizado trabajos en los que se busca correlación entre medidas tomadas en aparatos empíricos, en viscosímetros y la respuesta de un panel de jueces, encontrándose que para el caso de salsas de tomate frito comercial existe una buena correlación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

entre ellas, pudiéndose emplear la prueba empírica por costo y tiempo como una alternativa en su evaluación (Casas & Ramírez, 1998).

### **1.1.5. Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura**

Independientemente de los variados instrumentos utilizados en las pruebas de textura, todos tienen principios comunes.

**Utilización de dispositivos:** En la mayoría de los casos, se utiliza un dispositivo para la ejecución de la prueba, que es el que hace contacto con el alimento para comprimirlo, cizallarlo, cortarlo o estirarlo. Estos dispositivos (también llamados puntas, sondas, sensores) tienen formas geométricas y dimensiones variadas: placas, cilindros, conos, esferas, cuchillas, alambres, agujas, cinceles, celdas especiales (Kramer, celdas de extrusión), por lo que ofrecen áreas de contacto también variadas. Excepciones a esto son los casos de los consistómetros en los cuales el material fluye por efecto de la carga hidrostática del mismo material.

**Modo de prueba:** Básicamente existen dos modalidades para ejecutar una prueba: medir fuerza o medir distancia en un tiempo específico (medidas puntuales) o en función del tiempo. Si se controla la fuerza, se mide la distancia de la punta a través del alimento. Si se controla la distancia, se mide la resistencia que opone el material a que en la punta comprima, estire o penetre la distancia establecida. Otra forma menos común es medir el tiempo en que una determinada cantidad de material fluye cierta distancia o el volumen de material que fluye en un tiempo dado (consistómetros) ya sea bajo efecto de alguna fuerza impulsora o por la presión hidrostática del mismo fluido.

**Tiempo de prueba:** Las fuerzas ejercidas pueden ser en tensión ( si la fuerza se aplica hacia fuera del alimento, o sea, se estira), compresión (si la fuerza se aplica hacia dentro del alimento), cizallamiento, torsión, extrusión, etc. Aún cuando el tipo de prueba sea compresión o tensión, debido a la forma geométrica y dimensiones de la muestra y la punta, en realidad las muestras son sometidas a diferentes tipos de esfuerzos y en muchas ocasiones ocurre

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

cizallamiento, perforación, ruptura, etc. de tal manera que la prueba es destructiva y altera la estructura del material (Casas & Ramírez, 1998).

**PROTOCOLO DE LA PRUEBA:** Se refiere al procedimiento a seguir para efectuar una prueba en una muestra determinada. Se establece en base al tipo de instrumento, la muestra y la información que se desea obtener de la misma. Comprende los siguientes puntos:

⇒ **Selección del dispositivo:** En las pruebas en que se utiliza un dispositivo o sensor, éste se elige en función del tipo de prueba a efectuar (punción, corte, compresión, penetración) y de las características del alimento. De una misma forma geométrica pueden existir sondas de diferentes dimensiones (cilindros, conos, agujas, placas). Entre más duro o consistente el material, se elige una sonda que ofrezca menor área de contacto.

⇒ **Selección de las dimensiones de la muestra:** El tamaño, forma y recipiente donde se efectúa la muestra es fundamental en los resultados obtenidos en las pruebas empíricas e imitativas, por lo que es de suma importancia determinar cuales son los más adecuados para cada tipo de muestra. Una vez seleccionados, deben de mantenerse constantes entre todas las muestras cuyos resultados quieran compararse. La forma, tamaño y dimensiones de la muestra deben determinarse en función de las características de la misma (sólida, líquida, semisólida, comercial, experimental, si pierde estructura o se desestabiliza cuando se maneja) el tipo de prueba, el costo, la cantidad que se dispone, etc. Para determinar las dimensiones de muestras sólidas se recomienda efectuar una experimentación previa que nos indique bajo que condiciones de tamaño y forma se obtiene una mayor repetibilidad (menor coeficiente de variación).

⇒ **Historia de la muestra:** En muestras líquidas dependientes del tiempo o que pierden estructura con el manejo, se recomienda de preferencia que la prueba se efectúan en el envase original si es comercial o que la muestra se vacíe en un recipiente en condiciones determinadas, dándole el menor manejo posible dejándola reposar el tiempo suficiente para que recupere su estructura (mayonesas, yoghurt) a temperatura constante y protegidas del ambiente para evitar pérdida o ganancia de humedad. Otro aspecto a cuidar es la forma en que se coloca la muestra en el recipiente, celda, placa o compartimento para efectuar la prueba, pues en particular en fluidos y semisólidos, el manejo debe ser estandarizado y

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

mínimo y así mismo se debe controlar el tiempo que transcurre entre la colocación de la muestra y el inicio de la prueba.

☞ **Velocidad de la prueba:** Se refiere a la velocidad a la que el dispositivo comprime o estira al alimento. En algunos instrumentos no se tiene control de esta variable y la prueba se efectúa bajo la aceleración de la gravedad (penetrómetro). Algunos instrumentos controlan también las velocidades a las que la punta se acerca y toca la muestra y se retira de la misma.

☞ **Tiempo:** Determinar si se tomarán medidas de fuerza o distancia puntuales o en función del tiempo. Se toman medidas de fuerza (si se controla la distancia o deformación) o distancia (si se controla la fuerza).

☞ **Número de veces que se repite la prueba:** En algunas pruebas, una misma operación puede repetirse varias veces sobre la misma muestra ya sea para determinar la estabilidad de la estructura de la muestra o con otro fin.

☞ **Temperatura a la que se efectuará la prueba:** Las propiedades mecánicas son fuertemente influenciadas por la temperatura, por lo que es necesario que las pruebas empíricas e imitativas de textura se efectúen a temperatura constante y que solo se comparen pruebas efectuadas a la misma temperatura. A diferencia de los reómetros y viscosímetros para las pruebas fundamentales, los instrumentos empíricos e imitativos no cuentan con dispositivos para el control de la temperatura, debido básicamente al tipo de geometría de los dispositivos de prueba y a las dimensiones de la muestra. Se recomienda por lo tanto, que la muestra sea previamente atemperada (refrigeración, baño de agua, etc.) y se coloque en el instrumento, justo antes de efectuar la misma, cuando ya todo este listo para la prueba. Asimismo es conveniente determinar la temperatura al terminar la prueba. Es indispensable reportar la temperatura a la que se efectúa la prueba y lo compara resultados que se hayan efectuado a la misma temperatura.

☞ **Otros específicos del instrumento:** En algunos instrumentos pueden existir aspectos específicos a incluir en el protocolo de la prueba, en especial en instrumentos más sofisticados como los texturómetros. Ejemplo de esto es el "disparo de la prueba" (trigger), que se refiere a la fuerza mínima que debe sentir el dispositivo de prueba para detectar la superficie de la muestra e iniciar la prueba.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Es indispensable que se reporten sistemáticamente todos los elementos contenidos en el protocolo y que sólo se comparen muestras efectuadas bajo condiciones iguales de protocolo.

Las variables antes mencionadas son las más comunes en la mayoría de los instrumentos y generalmente, el operario (investigador, técnico, etc.) determina las variables a controlar y sus magnitudes en función del tipo de alimento y el atributo de textura que se desea evaluar (dureza, fracturabilidad, adhesividad, untabilidad, etc.) (Casas & Ramírez, 1998).

#### **1.1.6. Control de la prueba para consistencia y adhesividad**

En función del protocolo establecido, las variables a controlar en una prueba pueden ser: fuerza, distancia, tiempo y velocidad:

- **Fuerza:** con pesas, neumática, hidráulica, mecánica, computarizada.
- **La distancia:** manual, electrónica, computarizada.
- **El tiempo:** con cronómetro, digital, computarizado.
- **Velocidad:** mecánica, computarizada.

#### **1.1.7. Terminología empleada en las pruebas de consistencia**

En la selección anterior se describió de manera muy general la prueba de consistencia y adhesividad. A continuación, se presenta un resumen de cómo la definición de los parámetros ha ido cambiando desde el inicio de la prueba y como los han tratado diferentes autores (Casas & Ramírez, 1998).

**Consistencia:** Todas las sensaciones resultantes de la simulación de los receptores mecánicos y receptores táctiles, especialmente en la región de la boca, y variando con la textura del producto (Bourne, 1982).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Adhesividad:** Szczesniak (1963) la definió como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y otros materiales con los cuales entra en contacto (lengua, dientes, paladar, etc.), de manera que está relacionada con las propiedades de superficie. La midieron como el área negativa debajo de la línea base de la curva de consistencia y adhesividad y representa el trabajo necesario para jalar el dispositivo hacia fuera de la muestra (Casas & Ramírez, 1998).

## 1.2. REOLOGÍA

### **1.2.1. Definición**

Se dice que *la reología* es el estudio de la deformación y flujo de la materia (Heldman, 1975; Muller, 1973; Steffe, 1992; Wohl, 1968). La ciencia de la reología puede ser aplicada a varios productos y en realidad fue desarrollada por científicos estudiando tintas para impresión, plásticos, gomas, y materiales similares (Bourne, 1982).

La ciencia de la *reología* no cubre todos los aspectos que pueden ser incluidos en la definición de textura de alimentos. La reología define y mide propiedades de alimentos pero la tecnología de alimentos es también interesante en el proceso de masticación y los cambios en propiedades reológicas y texturales que ocurren durante la masticación. El factor de medición fundamental reológico usualmente no se correlaciona con mediciones sensoriales de textura así como el hacer pruebas empíricas puede resultar de la incompetencia de la reología para describir todos los cambios, o tal vez los cambios más importantes que son actualmente sentidos en la boca y son los más importantes en la tecnología de alimentos.

Aunque este comentario no puede aplicarse hoy al campo de la reología en general, esta claro que decir que se puede aplicar en un subtema de la reología de alimentos, solo un pequeño número de recursos científicos se aplican a esta profesión de la reología de alimentos. (Bourne, 1982).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.2.2. Propiedades de flujo

Con el objetivo de aclarar, la definición puede contener una pequeña o breve explicación de los parámetros reológicos que son usados (De Man, 1979).

#### FLUIDO

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le sujeta a un esfuerzo cortante, sin importar la magnitud de éste. Una fuerza cortante actúa tangencialmente a una superficie y al dividirse entre el área de la superficie, da como resultado el esfuerzo cortante medio sobre dicha área. El esfuerzo cortante en un punto es el límite de la fuerza cortante dividida entre el área, conforme esta última se reduce al punto (Streeter, 1975).

#### VISCOSIDAD

La fricción interna entre moléculas individuales en un fluido es designada como viscosidad. Para la medición de la viscosidad es también posible tener un fluido líquido a través de un cuerpo sólido. Para la medición de viscosidad de dos fluidos newtonianos básicamente pueden ser usados diferentes sistemas instrumentales. Uno es basado en la medición del tipo de flujo de una cantidad dada de líquido a través de un orificio de dimensiones conocidas, la otra es basada en la medición de resistencia friccional.

La viscosidad es la propiedad de un fluido mediante la cual se ofrece resistencia al corte. La ley de Newton de la viscosidad (ec. 1) establece que para una rapidez de velocidad cortante dada, el esfuerzo cortante es proporcional a la viscosidad. La resistencia que un fluido ofrece al corte depende de las fuerzas de cohesión y la rapidez de la transferencia de la cantidad de movimiento entre las moléculas (Streeter, 1979).

$$\sigma = \eta (du/dy) \dots\dots\dots 1$$

donde  $\sigma$ , esfuerzo cortante;  $\eta$ , constante de proporcionalidad;  $(du/dy)$ , es la velocidad cortante.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



*Viscosidad dinámica.* Este término es frecuentemente llamado "viscosidad" o "viscosidad absoluta". Es la fricción interna de un líquido o su tendencia para resistir el flujo. Es usualmente denotada por  $\eta$  y es definida por la ecuación

$$\eta = \sigma / \dot{\gamma} \dots\dots\dots 2$$

Donde  $\eta$  es la viscosidad;  $\sigma$ , es el esfuerzo cortante; y  $\dot{\gamma}$  la velocidad cortante (Bourne, 1982).

La unidad convencional de la viscosidad es mPa·s.

*Fluidez.* Este es el recíproco de la viscosidad dinámica. Es ocasionalmente usada en lugar de viscosidad. Es denotada por  $\phi$ , y es definida por la ecuación

$$\phi = \dot{\gamma} / \sigma \dots\dots\dots 3$$

(Bourne, 1982).

*Viscosidad Cinemática.* Es definida como la viscosidad absoluta dividida por la densidad del fluido. Es usualmente denotada por  $\nu$ :

$$\nu = \eta / \rho = \sigma / \rho \dot{\gamma} \dots\dots\dots 4$$

donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática en stokes;  $\eta$ , la viscosidad absoluta en centipoise; y  $\rho$ , en  $\text{gr/cm}^3$ . La unidad convencional de la viscosidad cinemática es el Stoke (Bourne, 1982).

*Viscosidad relativa.* Esta es llamada a veces "viscosidad en proporción", la cual es la proporción de la viscosidad de una solución por la viscosidad de un solvente puro y es definida por la ecuación

$$\eta_{rel} = \eta / \eta_s \dots\dots\dots 5$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

donde  $\eta_{rel}$  es la viscosidad relativa;  $\eta$ , la viscosidad de la solución;  $\eta_s$ , la viscosidad del solvente (Bourne, 1982).

*Viscosidad aparente.* Esta es la viscosidad de un fluido no newtoniano expresado como la de un fluido newtoniano. Un coeficiente calculado como dato empírico de un fluido obedece las leyes de Newton. El símbolo  $\eta_a$  es usado en la denotación de viscosidad aparente (Bourne, 1982).

### **Factores que afectan la viscosidad**

#### ➤ *Temperatura*

Esta es usualmente una relación inversa entre viscosidad y temperatura (Bourne, 1982).

#### ➤ *Concentración de solutos*

Esta es usualmente una relación no lineal directa entre la concentración del soluto y la velocidad a una temperatura constante (Bourne, 1982).

#### ➤ *Peso molecular del soluto*

Esta es usualmente una relación directa no lineal entre el peso molecular del soluto y la viscosidad de la solución a concentraciones iguales (Bourne, 1982).

#### ➤ *Presión*

La viscosidad de algunos líquidos es esencialmente constante en un rango promedio de presión de 0-101.3x105Pa. Por lo tanto el efecto de la presión puede ser usualmente ignorada para alimentos (Bourne, 1982).

#### ➤ *Materia suspendida*

Es usual un incremento en la escasa viscosidad cuando hay bajas concentraciones, pero a altas concentraciones de materia suspendida puede causar incrementos substanciales por las aglomeraciones entre las partículas. Altas concentraciones de materia suspendida dan un producto no newtoniano y puede conducir a un fluido plástico o un fluido dilatante (Bourne, 1982).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Velocidad cortante.** Este es el gradiente de velocidad establecido en un fluido como resultado de un esfuerzo cortante aplicado. Es expresado en unidades recíprocas de segundos ( $s^{-1}$ ) (Bourne, 1982).

Los fluidos se pueden clasificar como *newtonianos* y *no newtonianos* (Fig. 3). En los primeros existe una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado a la rapidez de deformación resultante. En los fluidos no newtonianos, esa relación es no lineal. Un *plástico ideal* posee un esfuerzo de fluencia definido y una relación lineal constante entre  $\sigma$  y  $du/dy$ ; por su parte una sustancia *tixotrópica*, como la tinta de impresor, tiene una viscosidad que depende de la velocidad cortante inmediatamente anterior de la sustancia y tiende a recuperar su estructura cuando se encuentra en reposo. Los gases y los líquidos delgados generalmente son fluidos newtonianos, mientras que los hidrocarburos gruesos, de cadena larga, pueden ser no newtonianos (Streeter, 1975).

Con objeto de facilitar el análisis muchas veces se supone que un fluido no es viscoso. Con viscosidad cero, el esfuerzo cortante es siempre nulo, sin importar que clase de movimiento tenga el fluido. Si además se le considera como incompresible, entonces se le denomina *fluido ideal*.

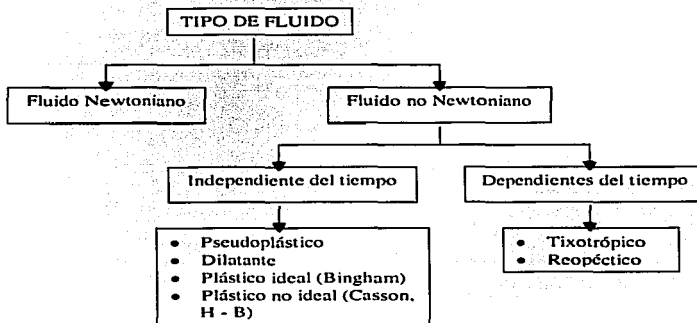


FIGURA 3. Clasificación de los fluidos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.2.3. Reología del chocolate

Ahora es el turno de poner nuestra atención en un material diferente. El chocolate es un poco inusual en el que se considera un alimento diferente que es importante para la ciencia de los alimentos que se encuentra en estado sólido y líquido. El estado del chocolate es denominado por el estado de la grasa en él. Por debajo del punto de fusión (32°C), el chocolate es consumido como una confitura y las propiedades de gran interés son su calidad alimenticia. Aunque este puede tener connotaciones reológicas, es una propiedad textural, normalmente evaluada por medio de pruebas organolépticas. Por encima del punto de fusión el chocolate es fluido y en este estado es manipulado durante la manufactura y donde el control de laboratorio puede ser ejercitado por medio de mediciones reológicas (Prentice, 1984).

La reología del chocolate no se conoce a fondo; se sabe, sin embargo, que sufre ablandamientos y endurecimientos complejos en condiciones específicas (Muller, 1977).

Los primeros experimentos reológicos efectuados sobre el chocolate fueron realizados con un Viscosímetro capilar, no muy adecuado para ello. Hacia 1950 se utilizó un Viscosímetro de cilindros concéntricos, observándose que la relación  $\sigma/\dot{\gamma}$  era groseramente lineal, pero que la recta no pasaba por el origen. Su comportamiento se semejaba al de un plástico de Bingham:

$$\sigma - \sigma_0 = \eta \dot{\gamma} \dots \dots \dots 6$$

Mejores resultados se obtuvieron utilizando la ecuación de Casson, inicialmente propuesta para tratar de la reología de las partículas floculadas (Muller, 1977).

La línea obtenida es razonablemente recta y su pendiente vale  $Kc$ . La intersección con el eje representa el esfuerzo de fluencia (Muller, 1977).

Recientemente se ha demostrado que la viscosidad aparente del chocolate fundido no sólo depende de la velocidad de corte, sino también del tiempo y que el chocolate no recupera su viscosidad original tras agitarlo (Muller, 1977).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La adición de lecitina en un 0.3-0.4% afecta considerablemente a las propiedades reológicas del chocolate. Este efecto de la lecitina sobre la viscosidad plástica del chocolate depende, por tanto del valor de la velocidad de corte (Muller, 1977).

#### Modelo de Casson

Esta ecuación fue desarrollada para tintas de impresión por Casson (1959), pero fue establecida para ser efectiva en algunos alimentos, particularmente chocolate y algunos otros fluidos pastosos. La ecuación es

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\sigma_0} + Kc \sqrt{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots 7$$

donde  $\sigma$  es el esfuerzo cortante;  $\sigma_0$  es el esfuerzo de fluencia;  $Kc$  la viscosidad aparente; y  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de corte. La ecuación da una respuesta lineal para chocolate. Es usada como un estándar internacional para la medición de viscosidad del chocolate (Bourne, 1982; Cook, 1972).

### 1.3. MÉTODOS Y DISEÑOS DE SUPERFICIES DE RESPUESTAS

La metodología de superficies de respuesta, (MSR o RMS, por sus siglas en inglés) es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influida por varias variables, y el objetivo es optimizar esta respuesta.

En la mayoría de los problemas de RMS, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes se desconoce. Por ello, el primer paso en la RMS consiste en determinar una aproximación apropiada a la relación funcional real entre  $y$  y el conjunto de variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden bajo sobre alguna región de las variables independientes. Si la respuesta es descrita adecuadamente por una función lineal de las variables, la función de aproximación es el modelo de primer orden:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \dots\dots\dots 8$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El objetivo eventual de la RMS consiste en determinar las condiciones de operación óptima para un sistema o determinar la región del espacio de los factores en la que se satisfacen las condiciones de operación. La RMS no se usa principalmente para obtener un mayor entendimiento del mecanismo físico del sistema, a pesar de que la RMS puede ser útil para adquirir dicho conocimiento. Más aún, debe observarse que el "óptimo" de la RMS se utiliza en un sentido especial. Los procedimientos de la RMS para "escalar una loma" garantizan la convergencia sólo hacia un óptimo relativo.

### 1.3.1. Método de máxima pendiente en ascenso

El método de máxima pendiente con ascenso es un procedimiento para recorrer secuencialmente a lo largo de la trayectoria de la máxima pendiente; en otras palabras, en la dirección del máximo incremento de la respuesta. Por lo regular, la trayectoria de máxima pendiente en ascenso se toma como la recta que atraviesa el centro de la región de interés y es normal a la superficie ajustada.

### 1.3.2. Análisis de modelos cuadráticos

#### a) Localización del punto estacionario

El punto estacionario podría representar (1) un punto de respuesta máxima, (2) un punto de respuesta mínima, o bien (3) un punto silla.

#### b) Caracterización de la superficie de respuesta.

Una vez hallado el punto estacionario, suele ser necesario caracterizar la superficie de respuesta en la vecindad inmediata de éste punto. Por caracterizar se entiende determinar si el punto estacionario es un punto de respuesta máxima o mínima o punto silla, y la sensibilidad relativa de la respuesta a las variables  $x_1, x_2, \dots, x_k$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **1.3.3. Diseños experimentales para ajustar superficies de respuesta**

El ajuste y análisis de superficies de respuesta se facilitan en gran medida con la elección apropiada de un diseño experimental. Cuando se selecciona un diseño de superficie de respuesta, algunas de las características de un diseño deseable son como sigue:

- Proporciona una distribución razonable de puntos de datos (y por tanto información) en toda la región de interés.
- Permite investigar la idoneidad del modelo, incluyendo la falta de ajuste.
- Permite la realización de experimentos en bloques.
- Permite la construcción secuencial de diseños de orden superior.
- Proporciona una estimación de error interna.
- No requiere un número grande de corridas.
- No requiere demasiados niveles de las variables independientes.
- Asegura simplicidad de los cálculos de los parámetros del modelo.

#### **1.3.3.1. Diseños para ajustar el modelo de primer orden.**

Un diseño de primer orden es ortogonal si los elementos fuera de la diagonal de la matriz  $(X'X)$  son iguales a cero. Esto implica que la suma de los productos cruzados de las columnas de la matriz  $X$  es igual a cero.

#### **1.3.3.2. Diseños para ajustar el modelo de segundo orden.**

Un diseño experimental para ajustar un modelo de segundo orden debe tener por lo menos tres niveles de cada factor. Existen muchos diseños que podrían emplearse para ajustar un modelo de segundo orden, así que elegir un diseño apropiado es útil con objeto de establecer un criterio de diseño. El diseño compuesto central es probablemente el diseño experimental más utilizado para ajustar superficies de respuesta de segundo orden.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3.3.3. Formación de bloques en diseños de superficies de respuestas.

Quando se emplean diseños de superficies de respuestas, a menudo es necesario considerar la formación de bloques a fin de eliminar variables inconvenientes. Se dice que un diseño de superficies de respuesta se divide en bloques ortogonalmente si los efectos de los bloques no influyen en las estimaciones paramétricas del modelo de superficie de respuesta.

### 1.3.4 Diseño de mezclas.

En experimentos de mezcla, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y en consecuencia, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si  $x_1, x_2, \dots, x_p$  denota las proporciones de  $p$  componentes de una mezcla, entonces

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots 9$$

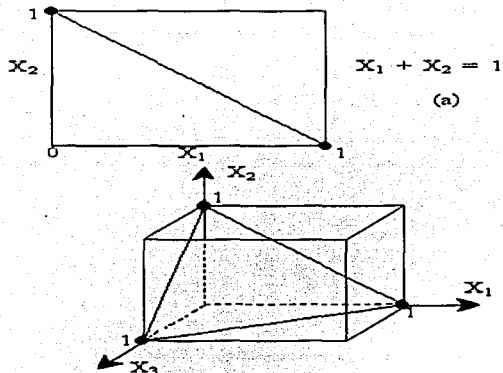
y

$$x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \quad (\text{es decir, } 100\%) \dots\dots\dots 10$$

Estas restricciones se ilustran en la Fig. 4 para  $p = 2$  y  $p = 3$  componentes. Para dos componentes, el espacio factorial para el diseño incluye todos los valores de los dos componentes que se encuentran en el segmento de línea  $x_1 + x_2 = 1$ , donde cada componente está acotado por 0 y 1. Con tres componentes, el espacio muestral es un triángulo cuyos vértices corresponden a formulaciones que son *componentes puros* ("mezclas" consistentes en 100% de un solo componente).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**FIGURA 4.** Espacio factorial restringido para mezclas con (a)  $p = 2$  componentes y (b)  $p = 3$  componentes.

Cuando hay tres componentes de una mezcla, la región experimental restringida puede representarse de manera conveniente en papel de coordenadas *trilineales*, como se muestra en la Fig. 5. Cada uno de los tres lados de la gráfica de esa figura representa una mezcla que carece en absoluto de uno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de malla en cada dirección indican incrementos de 10% en los componentes respectivos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

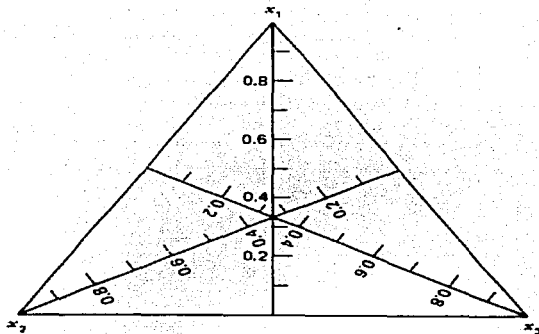


FIGURA 5. Sistema coordenado trilineal.

Los *diseños simplex* se emplean para estudiar los efectos de componentes de mezclas en la variable de respuesta. Un *diseño de red simplex*  $\{p, m\}$  para  $p$  componentes consiste en puntos definidos por las siguientes condiciones de coordenadas (las proporciones asumidas por cada componente toman los valores equiespaciados  $m + 1$  desde 0 hasta 1):

$$X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1 \quad i = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots 11$$

Y se emplean todas las posibles combinaciones (mezclas) de las proporciones de la Ecuación 14. Por ejemplo, sean  $p = 3$  y  $m = 2$ . Entonces

$$X_i = 0, 1/2, 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots\dots\dots 12$$

Y la red simplex en las seis corridas siguientes:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2) \dots\dots\dots 13$$

El diseño se muestra en la Fig. 5. Los tres vértices  $(1, 0, 0)$ ,  $(0, 1, 0)$  y  $(0, 0, 1)$  son los componentes puros, mientras que los puntos  $(1/2, 1/2, 0)$ ,  $(1/2, 0, 1/2)$  y  $(0, 1/2, 1/2)$  son mezclas binarias o de dos componentes, localizadas en los puntos centrales de las tres aristas del triángulo. En la Fig. 6 también se muestran los diseños de red símplex  $\{3, 3\}$ ,  $\{4, 2\}$  y  $\{4, 3\}$ . En general, el número de puntos en un diseño de red símplex  $\{p, m\}$  es

$$N = \frac{(p + m - 1)!}{m!(p - 1)!} \dots\dots\dots 14$$

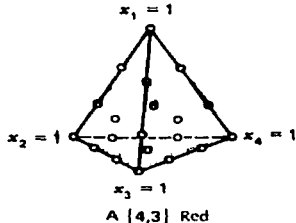
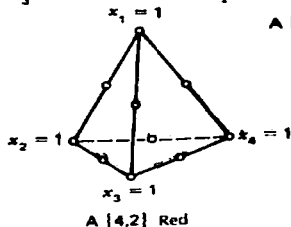
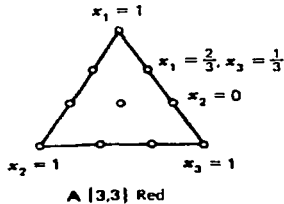
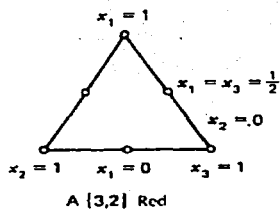


FIGURA 6. Algunos diseños de red símplex para  $p = 3$  y  $p = 4$  componentes.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Una alternativa al diseño de red símplex es el *diseño de centroide símplex*. En un diseño de centroide símplex de  $p$  componentes hay  $2^p - 1$  puntos, que corresponden a las  $p$  permutaciones de  $(1, 0, 0, \dots, 0)$ , las  $(p/2)$  permutaciones de  $(1/2, 1/2, 0, \dots, 0)$ , la  $(p/3)$  permutación de  $(1/3, 1/3, 1/3, 0, \dots, 0)$ , ..., y el centroide global  $(1/p, 1/p, \dots, 1/p)$ . En la Fig. 7 se presentan algunos diseños de centroide símplex.

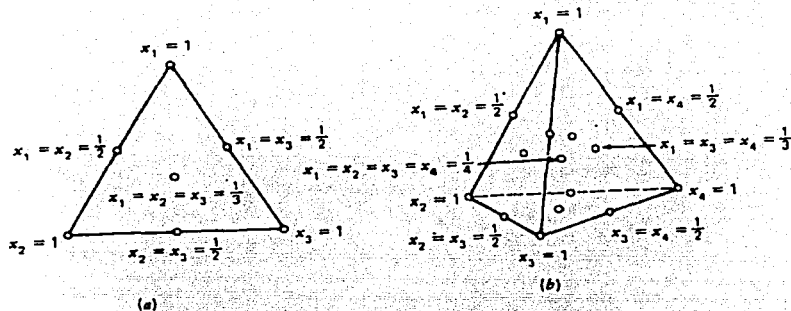


FIGURA 7. Diseños de centroide símplex con tres y cuatro componentes. (a)  $p = 3$ , (b)  $p = 4$ .

Una crítica a los diseños símplex antes descritos es que la mayoría de las corridas experimentales se hacen en la frontera de la región y, en consecuencia, sólo incluyen  $p - 1$  de los  $p$  componentes. Suele ser deseable aumentar la red o el centroide símplex con puntos extra en el interior de la región en que las mezclas consistirán en todos los  $p$  componentes.

Los modelos de mezcla difieren de los polinomios usuales empleados en el trabajo con superficies de respuesta, debido a la restricción  $\sum x_i = 1$ . Las formas estándar de los modelos de mezcla de uso difundido son:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lineal:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i \dots \dots \dots 15$$

Cuadrática:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} x_i x_j \dots \dots \dots 16$$

Cúbica completa:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j}^p \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \dots \dots \dots 17$$

Cúbica especial:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j}^p \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \dots \dots \dots 18$$

Los términos de estos modelos tienen interpretaciones relativamente sencillas. En la Ecuaciones 15 a 18, el parámetro  $\beta_i$  representa la respuesta esperada al componente puro  $x_i = 1$  y  $x_j = 0$  cuando  $j \neq i$ . El segmento  $\sum_i \beta_i x_i$  se denomina *porción de mezcla lineal*. Cuando existe curvatura debida a mezcla no lineal entre pares de componentes, los parámetros  $\beta_{ij}$  representan mezcla sinérgica o antagonista. A menudo son necesarios términos de orden superior en los modelos de mezcla debido a que (1) los fenómenos estudiados pueden ser complejos y (2) la región experimental a menudo es toda la región de operabilidad y por tanto es grande, lo que hace necesario un modelo elaborado (Montgomery, 1991).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1.4. SUSTITUTOS

### **1.4.1. Emulsificantes**

Usualmente son compuestos activos superficialmente que se adsorben en la interfase disminuyendo la tensión interfacial ofreciendo una resistencia física a la coalescencia y, a veces aumentando la carga superficial. Los emulsificadores tienen gran importancia en la industria de los alimentos.

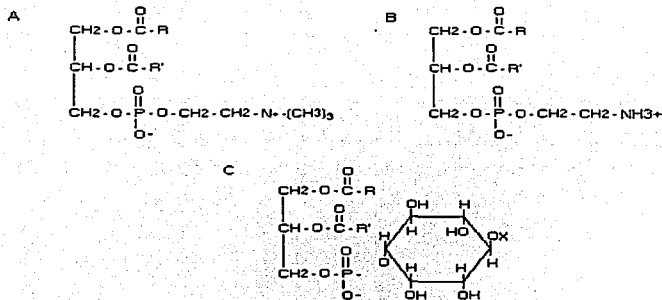
El desarrollo continuo de nuevos tipos de productos alimentarios y la continua mecanización del procesado de los alimentos ha incrementado el uso de emulsiones alimentarias y la necesidad de un mayor conocimiento de sus propiedades.

En estos momentos se dispone en la industria de los alimentos de numerosos agentes emulsionantes, que varían ampliamente en su estructura y propiedades (Fennema, 1993).

#### **1.4.1.1. Lecitina**

El término lecitina, en el contexto del cacao y el chocolate, no se refiere solamente a un fosfolípido específico, sino a una mezcla compleja de fosfátidos (principalmente fosfatidilcolina, ácido fosfatídico, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol y fosfatidilserina) combinados con triglicérido, ácidos grasos, tocoferoles y carbohidratos (Fennema, 1993; Hoghes, ; Grupo Alimentae, 2000; Multon, 1988; Ranken, 1988). Las estructuras de los tres mayores fosfátidos están puestos en la fig. 8 (Fennema, 1993; Hoghes, ; Multon, 1988). La lecitina de soja se obtiene a partir de las gomas del aceite de soja y contiene de 30 a 35% de este aceite (Grupo Alimentae, 2000). Esta mezcla se extrae junto con la grasa mediante extracción con solventes de la semilla oleaginosa y se separa de ella en los procesos de desgomado o refinado. Las semillas de soja son la fuente comercial de lecitina (Ranken, 1988).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 8.** Estructuras químicas de los tres mayores fosfatidos: A, fosfatidilcolina; B, fosfatidiletanolamina; C, fosfatidilinositol. X, uno o más grupos de fosfatidos enlazado con una o más moléculas de azúcar; R, R', constituyentes de ácidos grasos (Fennema, 1993; Hoghes, 1987; Multon, 1988).

#### 1.4.1.1.1. Usos

La lecitina de soya comercial es empleada por sus propiedades multifuncionales, las cuales son: emulsificante, antisalpicante, dispersante/humectante instantáneo, agente lubricante, modificador de viscosidad, disminuye la tensión superficial en la interfase sólido/líquido y suplemento dietético (Grupo Alimentae, 2000; Hoghes, 1987; Ranken, 1988).

La lecitina es usada extensamente en la industria procesadora de cocoa. En mezclas de polvo de cocoa y bebidas en polvo instantáneas, las propiedades de humectación y suspensión de la lecitina son de gran importancia. Para manufactura de chocolate y coberturas, la actividad interfacial de la lecitina sirve para reducir la proporción de la manteca de cocoa, el ingrediente más costoso sin dañar las propiedades de flujo y de disolución. La lecitina provee una unión fisicoquímica entre dos fases inmiscibles, la grasa de la cocoa y la solución de azúcar (Pomeranz, 1985).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la industria alimenticia la lecitina es empleada en margarinas, quesos, chocolates, alimentos instantáneos, en productos horneados como pan, caramelos, helados, etc. y en la industria no alimenticia se utiliza en pinturas, plásticos, cosméticos, tintas, alimentos para animales, etc (Grupo Alimentae, 2000).

En chocolate, caramelos y coberturas, la lecitina sirve para controlar la viscosidad, permitiendo aplicar una cubierta uniforme con menor cantidad de manteca de cacao, reduce el tiempo de molido y mezclado de los diferentes ingredientes y produce un chocolate más estable el cual es más resistente a la aparición de grasa o azúcar en la superficie y a ponerse gris. Se usa del 0.25-0.35% de lecitina (Grupo Alimentae, 2000). En este caso la lecitina permite modificar las características reológicas y de economizar otras materias grasas costosas, como la manteca de cacao, además es utilizado como antioxidante (Multon, 1988).

**ALIMENTOS INSTANTÁNEOS:** Como cocoa en polvo, jarabes y bebidas de chocolate, es utilizado como agente emulsificante y humectante. Se adiciona lecitina del 0.5-2.0% (Grupo Alimentae, 2000).

#### **1.4.2. Agentes espesantes**

A veces llamados gomas hidrosulobles o hidrocoloides, son macromoléculas que se disuelven o se dispersan fácilmente en el agua para producir un aumento muy grande de viscosidad, y en ciertos casos, un efecto gelificante (Multon, 1988).

Las propiedades específicas de los agentes espesantes y gelificantes están especialmente unidas a la interacción exclusiva de estas macromoléculas. La solubilidad en el agua de estas macromoléculas que llevan numerosos grupos hidroxilos dependen esencialmente de su estructura química (Multon, 1988).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



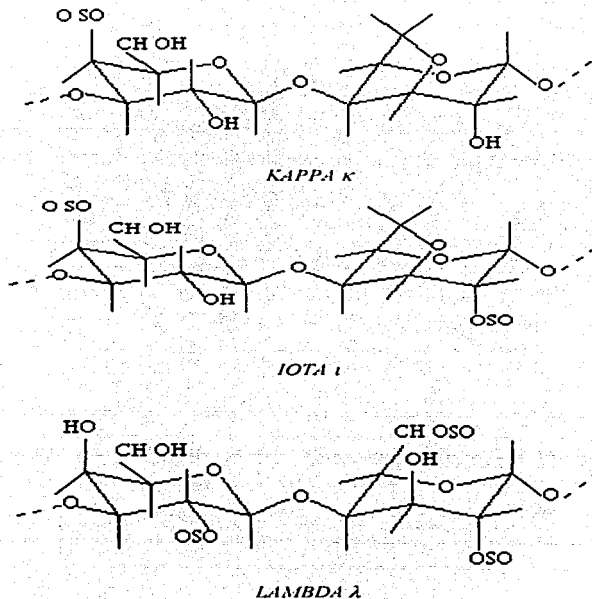
Todos los hidrocoloides como propiedad espesante poseen la capacidad de aumentar considerablemente la viscosidad del medio acuoso para concentraciones bajas aproximadamente al 1%. Este poder espesante varía mucho de una goma a otra; es muy elevada para la goma xantana, los carragenanos, los derivados de la celulosa y las galactomananos, pero está más limitado para las pectinas, la goma arábica y los almidones (Multon, 1988).

#### 1.4.2.1. Carragenina

Entre los polisacáridos sulfatados, la carragenina ocupa un primer lugar en cuanto a uso dentro de la industria alimentaria, aunque no es el único que contiene grupos sulfato. La mayoría de los polisacáridos sulfatados proviene de algas marinas rojas (rodofíceas), siendo los géneros *Chondrus* y *Furcellaria* los principales productores de carragenina y furcelareno, respectivamente. La función biológica que cumple esta clase de polisacáridos en las algas es que es parte integral de la estructura rígida de sus paredes (Badui, 1999; Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984).

Las diferentes fracciones de la carragenina, designadas kappa ( $\kappa$ ), mu ( $\mu$ ), nu ( $\nu$ ), lambda ( $\lambda$ ) e iota ( $\iota$ ) (Fig. 9) (Badui, 1999; Fennema, 1993; Hermansson, 1989; Phillips & col., 1992; Towle, 1990), tienen una fórmula química similar que consiste en unidades de D-galactosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,3) y  $\beta$  (1,4) alternadamente: se diferencian entre ellas por la concentración de los azúcares anhidros 3,6-anhidro-D-galactosa que contengan y por la posición en que se encuentran los grupos sulfato en la molécula D-galactosa. Los pesos moleculares varían entre 500,000 la forma natural en la planta marina y 100,000, que es la carragenina comercial más usada en la elaboración de alimentos (Badui, 1999; Phillips & Col., 1984).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 9.** Estructura de los carrageninas Kappa, Iota y Lambda.

Al dispersarse en agua se hincha y requiere de un ligero calentamiento para que se disuelva; la solución resultante presenta una viscosidad baja a temperaturas superiores a 60°C, pero al enfriarse establece un gel, cuya calidad y rigidez dependen de la concentración del polímero y de la calidad de iones potasio, amonio o calcio que contengan. El potasio es especialmente necesario para que la fracción κ gelifique (Badui, 1999; Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984).

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### 1.4.2.1.1. Propiedades funcionales

Las propiedades de estos polímeros sulfatados dependen en gran medida de los cationes asociados. Por ejemplo, si el catión es potasio se forman geles firmes, mientras que si es sodio, el polímero es soluble en agua fría y no forma geles. Las carrageninas interaccionan sinérgicamente con muchas otras gomas, en especial con la algarroba, en la que, dependiendo de la concentración, incrementa la viscosidad, la firmeza de los geles o bien la elasticidad de los mismos. A concentraciones altas las carrageninas incrementan la firmeza de los geles de guarano, pero a bajas concentraciones produce sólo incremento de la viscosidad (Fennema, 1993).

#### 1.4.2.1.2. Usos

Sus usos son muy variados, siendo los más importantes en la manufactura de leches infantiles y evaporadas en una concentración de 300 ppm, en las bebidas a base de chocolate (250 ppm), en helados para estabilizar el suero (150 ppm), en budines y flanes (3000 ppm), etc. Se usa también en la elaboración de productos dietéticos y en muchos productos más (Badui, 1999; Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984).

#### 1.4.2.2. Xantana

Heteropolisacárido ramificado sintetizado por diferentes especies de bacterias *Xanthomonas*, principalmente *X. campestris*, formado por residuos de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico en una relación molar de 2.8:3.2, también contiene aproximadamente 4.7% de grupos acetilo y 3.5% de ácido pirúvico; su peso molecular es superior a un millón. Es soluble en agua fría o caliente y forma soluciones muy viscosas estables al calor y con las sales en un pH de 6 a 9 (Badui, 1999; Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El esqueleto del polímero está formado por unidades de  $\beta$ -D-glucosa enlazadas a través de uniones 1, 4; es pues similar a la celulosa. En la posición 3 de una de cada dos unidades de glucosa, se sitúa una ramificación constituida por un trisacárido que contiene una molécula de ácido glucurónico y dos de manosa; aproximadamente la mitad de los restos terminales de D-manosa llevan a una molécula de ácido pirúvico, enlazada vía el grupo ceto a las posiciones C4 y C6 (Fig. 10) (Badui, 2000; Multon, 1988; Phillips & Col., 1984).

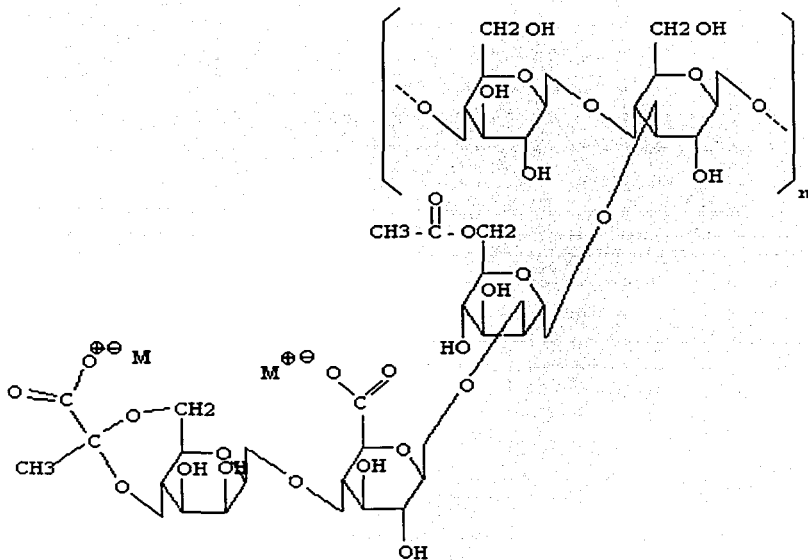


FIGURA 10. Estructura de la xantana.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 1.4.2.2.1. *Propiedades funcionales*

La xantana es muy soluble en agua fría o caliente y da lugar a soluciones altamente viscosas a bajas concentraciones. Las soluciones viscosas son pseudoplásticas y exhiben una fluidificación característica como respuesta a la aplicación de fuerzas de cizalla, propiedad de gran valor para los tecnólogos de los alimentos. Los cambios de temperatura en las cercanías de 60-70°C tienen poco efecto sobre la viscosidad de las soluciones y la goma misma es estable. Las variaciones en el intervalo de pH 6-9 tienen también poco efecto sobre la viscosidad, e incluso fuera de este intervalo de pH tiene poca importancia los cambios de viscosidad. La xantana es compatible con la mayor parte de los ácidos y las sales presentes en los alimentos. Esta goma posee además sinergismo con guarano, incrementándose la viscosidad, y con la goma garrofn, produciendo geles termorreversibles (Fennema, 1993).

#### 1.4.2.2.2. *Usos*

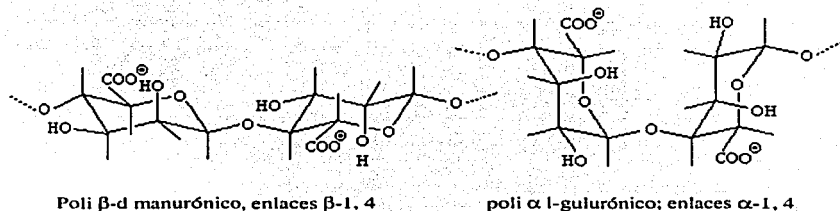
En la industria alimentaria generalmente se utiliza como coloide hidrofílico para espesar, suspender y estabilizar emulsiones y otros sistemas a base de agua; como son: aderezos para ensaladas, salsas, saborizantes, sasonadores, sopas, alimentos enlatados, jarabes, productos de repostería; y en bebidas para mejorar su palatabilidad y la liberación de aroma (Fennema, 1993; Ulrich, 1994; Multon, 1988; Phillips & Col., 1984).

#### 1.4.2.3. *Alginato*

Polisacárido que se extrae de las algas café de las feofíceas, como *Macrocystis pyrifera*. Las sales de calcio y de amonio producen soluciones viscosas estables en un intervalo de pH de 5 a 10; debido a su naturaleza iónica, estos polímeros se ven afectados por la presencia de sales y por pH inferiores de 5. El ácido alginico es un polímero lineal constituido por unidades de ácido  $\beta$  - D - manurónico y  $\alpha$  - L - gularónico, unidades por enlaces 1, 4 (Fig. 11). Los alginatos comerciales tienen un grado de polimerización que oscila entre 100 y 1 000. La relación de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

concentraciones de estos azúcares varía con la fuente botánica y con el grado de madurez de la planta; esto influye a su vez en la viscosidad que se logra con las soluciones (Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984; Wong, 1995).



**FIGURA 11.** Estructura del ácido alginico (A) polimanurónico y (B) poli L - gulurónico.

El ácido alginico es insoluble en agua. Las sales (alginatos) de los metales alcalinos (sodio o potasio, por ejemplo) son solubles y las formadas con metales di y trivalentes (calcio, por ejemplo) son solubles. En la práctica, las algas se acidifican para eliminar las impurezas, y el ácido alginico se neutraliza después, para extraerlo en forma de una sal soluble (Phillips & Col., 1984; Wong, 1995).

Los restos de D - manurónico y L - gulurónico se disponen formando las siguientes secuencias:

- 1) Bloques de ácido manurónico : - M - M - M - M - M -
- 2) Bloques de ácido gulurónico: - G - G - G - G - G -
- 3) Bloques alternantes: - M - G - M - G - M -

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cada tipo de bloques contiene unos 20 restos. Los bloques de tipo homogéneo 1) y 2) son relativamente más resistentes a la hidrólisis que los alternantes (Multon, 1988; Phillips & Col., 1984; Wong, 1995).

#### *1.4.2.3.1. Propiedades funcionales*

Las sales de alginato y metales alcalinos, amonio o aminas de bajo peso molecular son muy solubles en agua caliente o fría, mientras que por el contrario las sales de cationes di- o trivalentes son insolubles. Las soluciones de los alginatos son muy viscosas, con propiedades que dependen de la relación de unidades poli-M/poli-G de peso molecular y de los electrolitos presentes en la solución. La viscosidad de la soluciones disminuye conforme aumenta la temperatura y es solo ligeramente influenciada por los cambios de pH en el intervalo 4-10, en el intervalo de pH 5-10 su soluciones son estables por largos periodos de tiempo a temperatura ambiente (Fennema, 1993; Wong, 1995).

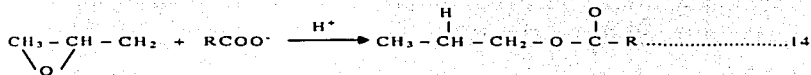
#### *1.4.2.3.2. Usos*

El alginato constituye el agente gelificante que ha resultado en la elaboración de alimentos tales como cerezas artificiales, polvo de confitería gelificado con productos lácteos o rodajas artificiales de cebolla.

Se usa también como espesante de salsas y condimentos, embutidos y rellenos de pastelería, al igual que como estabilizador de helados, para evitar la formación de cristales de hielo y, en recubrimientos de pastelería conteniendo nata batida, yogures y bebidas lacteas. La concentración de alginato usada en la elaboración de alimentos gelificados oscila entre el 0.5 y el 1% (Fennema, 1993; Phillips & Col., 1984; Wong, 1995).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A pH's bajos el alginato se convierte en ácido algínico que ve progresivamente reducida su solubilidad y termina precipitando. Para la utilización del alginato como estabilizador de los alimentos ácidos, se esterifican parcialmente los grupos carboxílicos con óxido de propileno, para formar alginato de propilenglicol (Ec. 14) (Phillips & Col., 1984; Wong, 1995).



#### 1.4.2.4. Goma Arábica

Este producto también recibe el nombre de goma acacia, ya que se obtiene al remover la corteza de árboles como *Acacia senegal*. Es un heteropolisacárido muy ramificado formado por una cadena principal de unidades de  $\beta$  - galactopiranosas a la cual se le unen residuos de L - ramnopiranosas, de L - arabinofuranosas y de ácido glucurónico; su peso molecular varía entre 250 000 y un millón, y en estado natural es una molécula compacta (Badui, 1999; Fennema, 1993; Multon, 1988; Phillips & Col., 1992).

##### 1.4.2.4.1. Propiedades funcionales

La influencia de sus grupos ácidos hace que la viscosidad de sus dispersiones se vea afectada por la adición de ácidos y álcalis, y por la presencia de cationes. Dos de sus características principales son su alta solubilidad en agua (hasta 50%) y la baja viscosidad que desarrolla; a diferencia del resto de las gomas, las soluciones de la arábica tienen un comportamiento newtoniano en concentraciones hasta del 40%, pero al incrementarse ésta, desarrolla las características pseudoplásticas de la mayoría de las gomas. Los tipos de alta calidad de esta goma dan soluciones incoloras e insípidas (Badui, 1999; Fennema, 1993).

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



#### 1.4.2.4.2. Usos

Los usos de goma arábiga dependen de su acción como coloide protector o estabilizador, y de la adhesividad de sus soluciones acuosas. Su uso principal en la industria de los alimentos es proporcionar viscosidad, cuerpo y textura a diversos alimentos. También se utiliza en numerosas emulsiones líquidas alimentarias como: jarabes, bebidas carbonatadas y no carbonatadas, cocktails con alcohol, aceites esenciales y bases aromáticas, aromatización en la industria de la confitería y de panificación (Fennema, 1993; Nutriquim, 2001; Phillips & Col., 1984).

### 1.5. EDULCORANTES

las definiciones dadas para edulcorantes y edulcorar tienen poco interés por ser demasiado simples y también ambiguas. La comparación entre edulcorar y endulzar radica en la adición de más fructuosa: estos dos verbos representan definiciones casi idénticas y que pudieramos considerar sinónimas: por extensión consideramos que es lo mismo sustancia edulcorante o endulzante. Hay que notar que no existe una definición oficial para estos términos.

Los edulcorantes se pueden, esquemáticamente, dividir en tres grupos:

- 1) Los azúcares: sacarosa, jarabe de glucosa, azúcar invertido, iso-glucosa, dextrosa, etc..  
Base de la confitería tradicional.
- 2) Los azúcares-alcoholes: sorbitol, xilitol, manitol, jarabe de glucosa hidrogenada, etc..  
Base de la confitería sin azúcar o hipocariógena.
- 3) Los edulcorantes de alto poder edulcorante: sacarina, ciclamatos, aspartame, etc.. Se pueden dividir en:
  - a) Edulcorantes de origen natural: productos vegetales que han sufrido una extracción o eventualmente modificaciones químicas.
  - b) Edulcorantes sintéticos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los dos primeros grupos reúnen edulcorantes en los que su poder edulcorante (PE) es inferior o vecino al de la sacarosa y que para aportar un nivel suficiente edulcorante, entran en las formulaciones necesariamente en concentraciones importantes, de suerte que constituyen gran parte o la totalidad de la carga nutritiva de un producto acabado.

Por el contrario, los edulcorantes de alto valor endulzante (con PE de muchas decenas de veces a millares de veces del de la sacarosa) no representan una carga ponderal en los productos acabados (Multon, 1988).

### 1.5.1. Sacarosa

La sacarosa ( $\beta$  - D - fructofuranosil -  $\alpha$  - D - glucopiranosido) está integrada por una glucosa cuyo carbono aldehídico se une al cetónico de la fructosa, estableciendo un enlace glucosídico  $\beta(1, 2)$  que impide que este disacárido sea reductor por carecer de grupos aldehído o cetona libres (Figura 12). La fructosa que contiene está como furanosa tensionada, lo que hace que el enlace glucosídico sea muy lábil al calor y a los ácidos y se pueda hidrolizar fácilmente produciendo una mezcla altamente reductora de los correspondientes monosacáridos; de hecho, entre todos los disacáridos, esta unión es de las más sensibles (Badui, 1999).

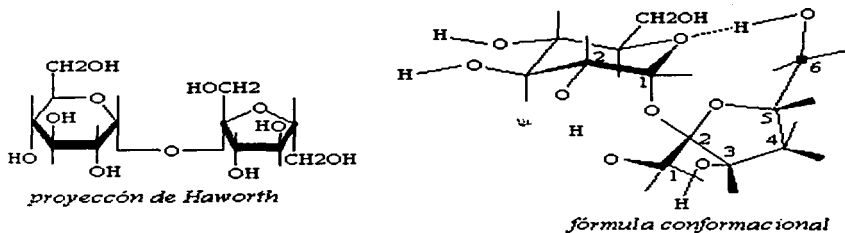


FIGURA 12. Estructuras de la sacarosa

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

La sacarosa tiene un grado de solubilidad muy alto, una gran capacidad de hidratación y es menos higroscópica que la fructosa; todas estas características hacen que se emplee en la elaboración de diversos alimentos (Badui, 1999).

El principal ingrediente de los dulces a base de azúcar y uno de los componentes más importantes del chocolate lo constituye el edulcorante. La sacarosa que es el edulcorante más común en la fabricación de dulces se obtiene a partir de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera. A temperatura ambiente, unas dos partes de sacarosa se disuelven en una de agua, obteniéndose así una solución concentrada de aproximadamente un 67%. Esta solución se sobresatura cuando se enfría sin agitación. Si el enfriamiento continúa, sobre todo con agitación, la sacarosa cristaliza. La cristalización puede acelerarse enormemente con sólo añadir a la solución sobresaturada un único y diminuto cristal de sacarosa (Potter, 1995).

Aumentando la temperatura del agua se disuelven concentraciones de sacarosa mayores. Cuanto mayor sea la concentración de sacarosa, más elevado será el punto de ebullición de dichas soluciones (Potter, 1995).

Por otra parte, la sacarosa es un azúcar que se degrada fácilmente en el intestino y se convierte en sus correspondientes monosacáridos; la glucosa se absorbe rápidamente e incrementa de manera violenta su concentración en la sangre, lo cual puede provocar problemas en el sistema hormonal que la regula (Badui, 1999).

### **1.5.2. Edulcorantes artificiales**

Este tipo de edulcorantes es utilizado principalmente por dos razones:

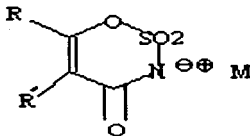
- a) **Dietéticos:** las personas que sufren de diabetes u obesidad muchas veces están restringidas de consumir carbohidratos en exceso, en la forma de azúcar, glucosa, azúcar invertido o miel, ya que estos alimentos pueden ser nocivos para su salud.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

b) Escasez de azúcar: en épocas de emergencias algunos países no están en disponibilidad de producir el azúcar necesario para sus necesidades, por lo que los edulcorantes artificiales pueden suplirla, pero resultan más caros (García Arellanes, 1992).

### 1.5.2.1. Acesulfame k

Es el derivado potásico (K) de los ácidos acetoacético (ACEsulfame) y el sulfámico (aceSULFAME) (Badui, 1999; Fennema, 1993). El acesulfame *K* difiere de la sacarina por tener un átomo de oxígeno entre le grupo  $\text{SO}_2$  y el anillo  $\pi$ . En ambos compuestos, la potencia o actividad edulcorante se destruye al alterar la función imida. El acesulfame *K* es unas 200 veces más dulce que la sacarosa en una concentración del 3%; es también más estable que este azúcar. No pierde estabilidad a valores de pH iguales o superiores a 3 y sólo se descompone a temperaturas por encima de 225° C. En agua a 20° C su solubilidad es del orden del 27%. (Fig. 13) (Fennema, 1993; Wong, 1995).



Dióxido de xatiozinona  
( R = H. R' = CH3 Acesulfame-K

FIGURA 13. Estructura del Acesulfame K.

Este aminosulfonato edulcorante tiene el grupo AH (NH) y B (oxígeno del  $\text{SO}_3$ ) en conformación gauche. Su gran poder edulcorante se debe probablemente a la amplia superficie de contacto hidrófobo que le proporciona su estructura cíclica. Las sustituciones en el anillo con grupos de diversa longitud revelan pérdida de la potencia edulcorante cuando la longitud del

grupo hidrófobo en N pasa de 0.7Å. Este hecho puede explicarse por la existencia en el receptor de una barrera espacial localizada a 0.7Å del punto de interacción del grupo NH. Un sustituyente muy voluminoso desplazaría a la molécula de modo que impidiera la interacción entre el grupo AH de la misma y la unidad B del receptor (Wong, 1995).

Actualmente algunos países europeos lo están empleando principalmente en bebidas y en lácteos porque no deja resabio desagradable: Tiene un efecto sinérgico con la fructosa, hecho que se puede aprovechar para reducir la cantidad de sacarosa en algunos productos (Wong, 1995).

### 1.5.2.2. Aspartame

El edulcorante de bajo contenido calórico denominado aspartame (comercializado bajo el nombre de Nutra Sweet) es el éster metílico de un dipéptido, L – aspartil L – fenilalanina (L – Asp – L – Phe – OCH<sub>3</sub>), se metaboliza como cualquier otro péptido, generando dos aminoácidos.: resulta 180 – 200 veces más dulce que la sacarosa a una concentración del 4%; no exhibe regusto amargo, tal y como se usa generalmente asociado a otros edulcorantes artificiales con los que ofrece una actividad sinérgica (Fig. 14) (Fennema, 1993; Wong, 1995).

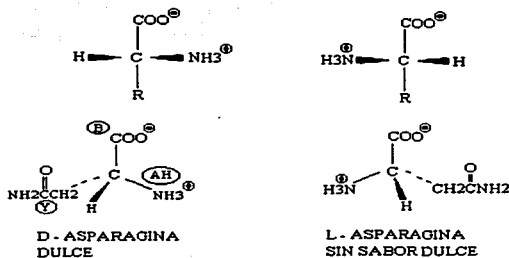


FIGURA 14. Proyecciones de Fisher y de la configuración de la D – y L – asparagina.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En solución se descompone y pierde su dulzor, a través de una reacción de primer orden, en la que influyen en gran medida el pH y la temperatura; es más estable en un pH de 2.5 – 5.0 y a bajas temperaturas; su degradación se lleva a cabo por la hidrólisis del enlace éster metílico, por la ruptura de la unión peptídica, o por un reacomodo intramolecular que da origen a la dicetopiperidina (Badui, 1999).

En relación con los *L* – azúcares todavía queda mucho por investigar, pero se considera que pueden llegar a tener un uso importante en el futuro. En la naturaleza de los monosacáridos son de la serie *D*; se han comprobado que algunos de la *L* tienen un poder edulcorante semejante al de los primeros, pero con la gran ventaja de que no producen calorías porque no son metabolizados. Aún no tienen una aplicación comercial y se siguen estudiando (Badui, 1999).

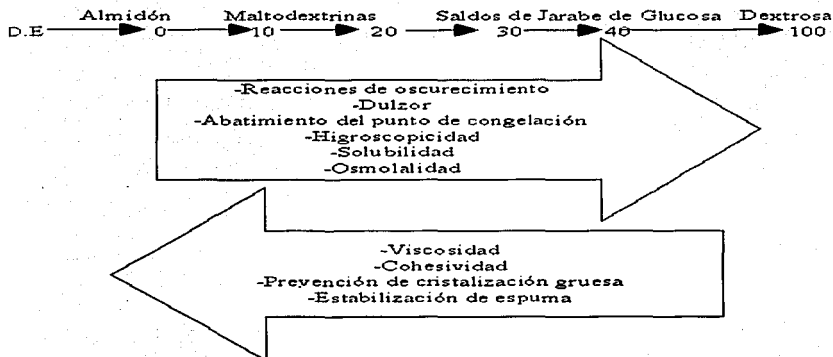
## 1.6. AGENTE DE VOLUMEN

### **1.6.1. Maltodextrinas (amidex)**

Las Maltodextrinas son derivados del almidón, que desde su aparición en el mercado de materias primas han permitido una gran cantidad de opciones para desarrollar nuevos productos o bien, para mejorar las formulaciones y procesos ya existentes. Las maltodextrinas y sólidos de glucosa permiten controlar características según su dextrosa equivalente (Fig. 15), tales como: viscosidad, dulzor, textura, etc., de un producto dado (Arancia, 2000).

En la figura 15 se esquematiza el efecto de la dextrosa equivalente (DE) en diferentes productos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 15.** Variación de las propiedades de amidex según el grado de su dextrosa equivalente.

#### 1.6.1.1. Beneficios

Estos son algunos de los beneficios que ofrece la incorporación de amidex a su formulación:

- ✔ Permiten controlar el dulzor sin necesidad de alterar significativamente la composición.
- ✔ Inhiben la formación de terrones en polvos y harinas preparadas, prolongándose la vida de anaquel.
- ✔ No enmascarar sabores, ni aun a niveles altos de sólidos.
- ✔ No imparten gusto harinoso o de almidón.
- ✔ Mejoran el cuerpo y la textura.
- ✔ Contribuyen a estabilizar las espumas.
- ✔ Reducen la cristalización en alimentos congelados.
- ✔ Forman películas claras y brillantes.
- ✔ Son excelentes acarreadores o vehículos.

(Arancia, 2000).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1.7. FUNCIÓN DE LOS INGREDIENTES

### **1.7.1. Edulcorantes**

En el chocolate, la *sacarosa* se presenta en estado disperso en una fase lipídica continua, en forma de microcristales lo suficientemente finos (diámetro medio de 20  $\mu\text{m}$ ) para no ser percibidos cuando se consume el producto. Este glúcido no sólo interviene como sustancia edulcorante, sino que participa igualmente en la confección del aroma del chocolate durante su fabricación (Linden & Lorient, 1994).

La sustitución de la sacarosa por otros azúcares (acesulfame k y aspartame) o por polioles permite una reducción del valor calórico del chocolate y, según el tipo de sustituto, una metabolización más rápida o más lenta (Linden & Lorient, 1994).

Además de su poder azucarante, los edulcorantes son apreciados en los productos por su capacidad de potenciar los aromas, por su poder osmótico y texturificante, por su viscosidad, etc. (Linden & Lorient, 1994).

### **1.7.2. Jarabe de glucosa**

Las utilizaciones industriales de los jarabes de glucosa están sobre todo ligados a su poder azucarante, cristalizante, viscosificante y a su capacidad de retención de agua (Linden & Lorient, 1994).

### **1.7.3. Cocoa**

La cocoa es empleada principalmente por su acción antioxidante natural que posee por sí sola, por su capacidad de dar color, sabor y olor a chocolate. (Phillips & Col., 1984)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



#### **1.7.4. Agua**

Las principales propiedades biológicas del agua estriban fundamentalmente en su capacidad para transportar diferentes sustancias a través del cuerpo, disolver otras y mantenerlas tanto en solución como en suspensión coloidal; esto se logra porque puede permanecer líquida en un intervalo de temperatura relativamente amplio y porque tiene propiedades como disolvente (Badui, 1999).

#### **1.7.5. Benzoato de sodio**

La sal sódica del ácido benzoico (ácido bencencarboxílico o ácido fenilfórmico) se utiliza ampliamente en un gran número de alimentos, y es tal vez uno de los conservadores más comunes en la industria. En forma natural, el ácido benzoico se encuentra en la canela, el clavo, las ciruelas (conc. de 0.05%) y otras frutas, y en algunas flores; al igual que sucede con otros aditivos de esta índole, la forma no disociada del ácido es la que presenta actividad antimicrobiana, por lo que el pH tiene un efecto decisivo en su efectividad : a  $\text{pH} < 4.0$  existe una proporción alta sin disociar y esto hace que actúe óptimamente a valores de pH de 2.5 a 4.0. Es decir, en los productos ácidos como jugos de frutas, bebidas carbonatadas, postres, alimentos fermentados y otros, controla el crecimiento de levaduras y bacterias y en menor grado el de hongos (Badui, 1999; Nutriquim, 1998).

Debido a que la solubilidad del ácido es baja (3.4 g/l a 25°C), en su lugar se prefiere utilizar el benzoato de sodio (550 g/l a 25°C), que una vez en el alimento se convierte en la forma de ácido no disociada; la dosis letal media de la sal es de 4.07 g/kg oralmente para ratas (Badui, 1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.7.6. Vainilla

Tanto el extracto bruto como la vainilla sintetizada químicamente se utilizan ampliamente como saborizantes y aromatizantes en alimentos dulces como galletas, bollos, pastelería, helados y bebidas sin alcohol (Hughes, 1987).

### 1.7.7. Sal

Es un agente conservador que impide que se desarrolle y reproduzcan las bacterias (Diccionario de los Alimentos, 1984).

## 1.8. JARABE DE CHOCOLATE

### 1.8.1. Introducción

Los aztecas utilizaban el "*chocolatl*" como bebida en la época en que fueron invadidos por los españoles en 1519. Esta bebida se preparaba quitando la cáscara a los granos de cacao, moliendo las almendras y mezclando la masa fluida que se obtenía de esto con maíz, especias y agua (Desrosier, 1999; Becket, 1988). Los españoles agregaron azúcar a la bebida e introdujeron los granos de cacao en España. Con el tiempo, el cacao se cultivó en las Américas Central y Sur y más tarde en África (Desrosier, 1999).

Linneo, el botánico sueco dio al árbol de cacao el nombre *Theobroma Cacao* o Alimento de los Dioses. Las variedades del árbol de cacao, entre muchas otras, incluyendo el Criollo, Forastero, y una cruce entre los dos, el Trinitario; este último es el más importante en la actualidad desde el punto de vista comercial (Desrosier, 1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las primeras semillas de cacao, fueron traídas a Europa por Colón, como una curiosidad, pero se explotaron después comercialmente por Cortés, como una bebida nueva. Los españoles preferían la bebida edulcorada y de esta forma se expansionó su popularidad a Europa Central y del Norte. La primera noticia de la adición de la leche en esta bebida de chocolate, fue registrada en el Reino Unido en 1727 por Nicholas Danders, aunque las razones para hacer esto son inciertas (Becket, 1988).

Las mezclas de las habas de cacao molidas con azúcar, no produce por sí el chocolate sólido tan familiar para el consumidor moderno. En cambio, produciría una sustancia muy dura que no sería agradable al paladar. Con el fin de permitir que se funda fácilmente, es necesario añadir grasa extra. Esta se puede obtener comprimiendo las habas del cacao para separar algo del contenido graso, conocido por el nombre de manteca de cacao. La posibilidad de extraer esta grasa fue desarrollada en 1828 por Van Houten de Holanda, y tenía la doble ventaja de utilizar la grasa exprimida para hacer barras de chocolate sólido, mientras que el polvo restante, pobre en grasa, podía incorporarse todavía a una bebida (Becket, 1988).

Para muchos productos de repostería, helados y bebidas frías es preferible la utilización de un líquido en lugar del chocolate en polvo. Los jarabes y coberturas juegan un importante rol en la producción de confituras y en años recientes tienen un notable crecimiento. Una función importante del jarabe es su uso en el control de la granulación de un lote de dulces. Las coberturas son usadas para acrecentar el sabor y apariencia de confituras (Harris & Peterson, 1991).

### **1.8.2. Definición**

El jarabe de cacao cubre estas necesidades particulares, y consiste en cacao en polvo disperso en un jarabe de azúcar apropiado que generalmente contiene azúcar invertido, jarabe de glucosa y sacarosa, cuyo objeto es minimizar la cristalización durante el almacenamiento. Algunas preparaciones contienen también sólidos lácteos (Ranken, 1988).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El jarabe de chocolate se prepara calentando y mezclando los ingredientes hasta asegurar la completa disolución de la sacarosa. A continuación el enfriamiento debe ser tal que no se produzca la coalescencia de los glóbulos grasos y el azúcar no recristalice, lo que haría que el jarabe espesase con el tiempo, limitando su propia vida (Ranken, 1988).

El jarabe de chocolate está compuesto de cacao, azúcar, jarabe de maíz y/o azúcar invertido, agua, sal, vainilla y otro sabor. La cocoa, si está alcalinizada, produce un producto suave con viscosidad relativamente baja; si se utiliza cocoa natural, se obtiene un producto más claro y astringente que tiene viscosidad poco mayor. El jarabe de maíz proporciona al producto cuerpo, y el azúcar invertido le da dulzura. Ambos sirven como agentes para evitar la cristalización (Desrosier, 1999).

El producto puede contener hasta 40% de agua (si se utilizan condiciones totalmente sanitarias). De enlatarse a 87° - 93°C, purgarse con vapor en la engargoladora y enfriarse de inmediato para evitar cambios posteriores en sabor debido a temperaturas elevadas. El análisis típico sería: agua (25 - 40%); sacarosa (12 - 45%); azúcares invertidos (70 - 40%) y cacao (6 - 10%) (Desrosier, 1999).

### 1.8.3. Composición química

| Componentes principales | %   |
|-------------------------|-----|
| Proteínas               | 7   |
| Carbohidratos           | 50  |
| Grasas                  | 37  |
| Teobromina              | 1   |
| Agua                    | 1.8 |
| Cenizas                 | 3.2 |

FUENTE: Diccionario de los Alimentos. 1984

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **1.8.4. Valor nutritivo del Chocolate**

El valor nutritivo del chocolate se debe enteramente a su alto valor energético. El USDA Agriculture handbook, Composition of Foods, registra al chocolate simple con 520 cal por 100 g. El chocolate con leche y almendras tiene 532 y con cacahuates 543 cal por 100 g (Desrosier,1999).

La cocoa para desayuno con alto contenido de grasa (23.7%) tiene 299 cal por 100 g y una cocoa de bajo contenido de grasa (12.7%), procesada con álcali tiene 215 cal por 100 g. El jarabe de chocolate tiene 245 cal y el aderezo de chocolate tiene 330 cal por 100 g (Desrosier,1999).

#### **1.8.5. Características físicas y reológicas**

Una propiedad física del chocolate, además de las que se relacionan con la cristalización y el templado, que es de primordial importancia en su reología. En la actualidad, en EUA, la viscosidad del chocolate se mide con el Viscosímetro de MacMichael tal como lo recomienda la NCA (National Confectionary Association). Sin embargo, la medida de la constante de Casson y el valor de esfuerzo cortante inicial es mucho más definitivo para conocer las verdaderas propiedades de flujo. La consyante de Casson es la viscosidad de una sustancia plástica calculada como la relación del esfuerzo cortante a la velocidad cortante. El esfuerzo cortante inicial debe imponerse antes de que se inicie el flujo. El viscosímetro Haake mide estas propiedades muy bien debido a su amplia gama de velocidades cortantes. El viscosímetro Brookfield proporciona más información que el MacMichael y el viscosímetro Haake aún más (Desrosier,1999).

En general, cuando un recubrimiento es reológicamente inestable, su viscosidad disminuye con la agitación como se refleja en la viscosidad de MacMichael. Asimismo, los valores de Casson disminuyen, prestándose una mayor reducción en el esfuerzo cortante inicial que en la constante de Casson (Desrosier,1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La viscosidad del chocolate puede disminuirse agregando manteca de cacao o lecitina. Las propiedades de flujo también están controladas por el tamaño de partícula del chocolate, por el control de la humedad y por la presencia de emulsificantes (Desrosier,1999).

Al moldear, se busca obtener una viscosidad que permita que el chocolate fluya con facilidad a todas las esquinas del molde y que permita el desprendimiento rápido de las burbujas de aire. Cuando el chocolate se usa como recubrimiento cualquiera de estas propiedades sería conveniente (Desrosier,1999).

Por todo lo anterior se propone trabajar con el siguiente objetivo general y sus objetivos particulares siendo éstos los que nos ayudaran a dar una respuesta final para concluir y tener un trabajo que pueda ser de ayuda más adelante.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar las propiedades reológicas y texturales de los ingredientes sustitutos (polisacáridos y edulcorantes), en la elaboración del jarabe de chocolate bajo en calorías; empleando el método estadístico diseño de mezclas, para la predicción de una formulación similar a la de un jarabe comercial.

#### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar la influencia de los sustitutos (alginato, goma arábica, carragenina, xantana, acesulfame k y aspartame) en los parámetros de consistencia y de adhesividad de un jarabe de chocolate bajo en calorías.
2. Determinar la influencia de los sustitutos (alginato, goma arábica, carragenina, xantana, acesulfame k y aspartame) en los parámetros de flujo de un jarabe de chocolate bajo en calorías.
3. Mediante el método estadístico diseño de mezclas obtener las concentraciones más adecuadas de los polisacáridos (alginato, goma arábica, carragenina y xantana) y edulcorantes (sacarosa, acesulfame k y aspartame) que nos permitan tener características similares al jarabe de chocolate comercial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CUADRO METODOLÓGICO

A continuación se muestra el cuadro metodológico seguido en la realización de la tesis.

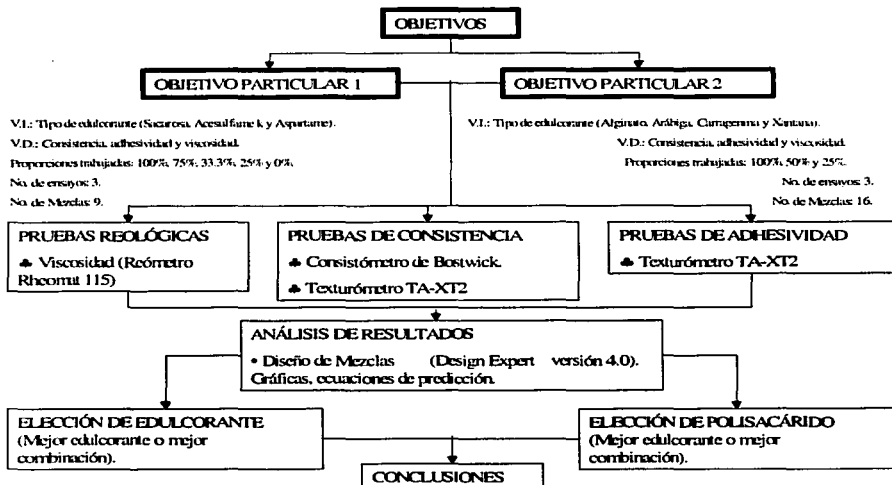


FIGURA 16. Cuadro metodológico del desarrollo experimental durante este trabajo de tesis.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

### MATERIALES

➤ Materia prima

Jarabe comercial (Hershey México, S. A. de C. V.)

Cocoa Hershey's (Hershey México, S. A. de C. V.)

Cocoa Negra (Grupo Comercial Mediterráneo S.A. de C.V)

Jarabe de Glucosa (Arancia Corn Products, S.A de C.V)

➤ Agente de volumen

Maltodextrina "Amidex 30" (Arancia Corn Products, S.A de C.V)

➤ Edulcorantes

Acesulfame k: (Sunett)

Aspartame: (Comercial Mexicana S. A. de C. V.)

➤ Espesantes

Carragenina  $\kappa$ -1: (Makymat, S.A de C.V.)

Alginato "Keltone HV": (Kelco)

Goma Arábica: (Nutriquim, S. A. De C. V.)

Xantana "Keltrol F": (Kelco)

➤ Emulsionante

Lecitina de soya (Grupo Alimentae, S. A. de C. V.)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 2.3 FORMULACIÓN

En el cuadro siguiente se muestra la formulación adecuada para realizar un jarabe de laboratorio.

**CUADRO 1** *Porcentaje de ingredientes utilizados en la elaboración del Jarabe de Chocolate.*

| <b>Ingredientes</b> | <b>Porcentaje (%)</b> |
|---------------------|-----------------------|
| Jarabe de glucosa   | 50                    |
| Sacarosa            | 25                    |
| Agua                | 20.45                 |
| Cocoa               | 4.5                   |
| Vainilla            | 0.02                  |
| Benzoato de sodio   | 0.01                  |
| Sal                 | 0.01                  |

**FUENTE:** Harris, 1991.

En el Design Expert versión 4.0 se obtuvo el siguiente diseño experimental, en el caso que se desea sustituir la sacarosa (cuadro 2) se modifico la formulación original agregando en lugar de el 25% la proporción equivalente de edulcorante con amidex.

**CUADRO 2.** *Diseño experimental obtenido para edulcorantes. Los valores indican la fracción que corresponden a cada componente.*

| <b># de Mezcla</b> | <b>Sacarosa</b> | <b>Acesulfame k</b> | <b>Aspartame</b> |
|--------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| 1                  | 0.5             | 0                   | 0.5              |
| 2                  | 0               | 1                   | 0                |
| 3                  | 1               | 0                   | 0                |
| 4                  | 0.33            | 0.33                | 0.33             |
| 5                  | 0               | 0                   | 1                |
| 6                  | 0               | 0                   | 1                |
| 7                  | 0.5             | 0.5                 | 0                |
| 8                  | 1               | 0                   | 0                |
| 9                  | 0               | 1                   | 0                |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lo anterior es justificado en el que el edulcorante sustituto tiene un gran poder edulcorante, por lo que se agregan pocos gramos. En el caso de las muestras que no tienen sacarosa se agregó amidex con la finalidad de compensar el peso de la formulación final.

En el cuadro 3 se muestra para cada número de mezcla la cantidad de edulcorante y maltodextrina agregados a los jarabes de chocolate.

**CUADRO 3.** *Cantidades utilizadas de sacarosa, edulcorantes sustitutos y maltodextrina para los jarabes de chocolate elaborados.*

| # de Mezcla | Sacarosa<br>(g) | Acesulfame K<br>(g) | Aspartame<br>(g) | Maltodextrina<br>(g) |
|-------------|-----------------|---------------------|------------------|----------------------|
| 1           | 37.500          | 0                   | 0.208            | 37.292               |
| 2           | 0               | 0.375               | 0                | 74.625               |
| 3           | 75.000          | 0                   | 0                | 0                    |
| 4           | 24.975          | 0.125               | 0.139            | 49.765               |
| 5           | 0               | 0                   | 0.417            | 74.583               |
| 6           | 0               | 0                   | 0.417            | 74.583               |
| 7           | 37.500          | 0.188               | 0                | 37.312               |
| 8           | 75.000          | 0                   | 0                | 0                    |
| 9           | 0               | 0.375               | 0                | 74.625               |

Para la adición de polisacáridos (cuadro 4) se obtuvieron las proporciones respectivas. En este caso los jarabes de chocolate se prepararon con 49% de jarabe de glucosa y el 1 % correspondió al polisacárido o mezcla de polisacáridos que se agregarán. Este 1% se disolvió en el 20% del agua total de la formulación.

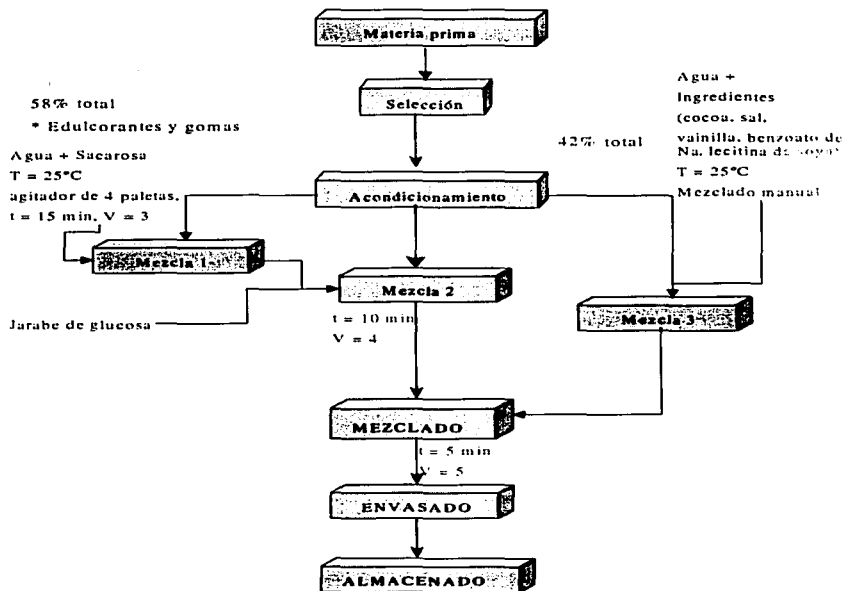
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CUADRO 4.** *Diseño experimental obtenido para Polisacáridos. Los valores indican la fracción que corresponden a cada componente.*

| # de Mezcla | Alginato | Goma<br>Arábica | Carragenina | Xantana |
|-------------|----------|-----------------|-------------|---------|
| 1           | 1        | 0               | 0           | 0       |
| 2           | 0.25     | 0.25            | 0.25        | 0.25    |
| 3           | 0        | 0.5             | 0           | 0.5     |
| 4           | 0.5      | 0.5             | 0           | 0       |
| 5           | 0        | 0               | 1           | 0       |
| 6           | 0        | 0               | 0.5         | 0.5     |
| 7           | 0.5      | 0               | 0.5         | 0       |
| 8           | 0.5      | 0               | 0           | 0.5     |
| 9           | 0.5      | 0               | 0           | 0.5     |
| 10          | 0        | 0.5             | 0.5         | 0       |
| 11          | 0        | 1               | 0           | 0       |
| 12          | 0        | 0               | 0.5         | 0.5     |
| 13          | 0.5      | 0               | 0.5         | 0       |
| 14          | 0        | 0               | 0           | 1       |
| 15          | 0        | 0.5             | 0           | 0.5     |
| 16          | 0        | 0.5             | 0.5         | 0       |

## 2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACIÓN DE JARABE DE CHOCOLATE

En la figura 17 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de jarabe de chocolate en cada uno de sus puntos.



**FIGURA 17.** Diagrama de Bloques para la Elaboración de Jarabe de Chocolate.

- Modificaciones en el proceso para cada variable.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL JARABE DE CHOCOLATE**

#### **Procedimiento**

Disolver con un agitador de cuatro paletas (marca Yamato, modelo LR-41D), a velocidad 3 (650 rpm), la sacarosa con el 40% de agua por un tiempo aproximado de 15 min. a temperatura ambiente. En el caso de que se sustituya el edulcorante o se agregen polisacáridos, se realiza la adición de los mismos, disueltos en 20% de agua total, en un tiempo de 15 min.

Después se adiciona el jarabe de glucosa a la disolución de sacarosa y se mezcla durante 10 minutos.

Se mezcla la cocoa, la sal, el benzoato de sodio, sabor vainilla y la lecitina en el 40% restante de agua, a temperatura ambiente y se adiciona a la mezcla anterior, se da un mezclado final por 5 minutos, a velocidad 4 (875 rpm). En caso de requerir la dición de amidex, es en este punto donde se incorpora. Es así como se obtiene el jarabe de chocolate.

Una vez terminado el jarabe de chocolate deseado, se envasa el jarabe a temperatura ambiente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## MÉTODOS

### *i. Comportamiento al flujo*

En esta prueba se realizó una curva de flujo a 25° C, donde el jarabe mostró dependencia con el tiempo, por lo cual se aplicó un tiempo de estabilización de 8 min a una velocidad de 704 s<sup>-1</sup> y después se obtuvieron 28 datos de ascenso y de descenso con velocidades de cizalla con un intervalo de 6.65 a 704 s<sup>-1</sup> en un tiempo total 4.66 min.

La prueba se realizó por triplicado dejando 30 min. de reposo antes de comenzar cada prueba.

Equipo: Rheomat 115 SV marca CONTRAVES RHEOANALIZER; Grenoble, Francia, con geometría de cilindros DIN 145.

Se realizó un ajuste de datos al modelo newtoniano y en algunos casos al de la potencia.

### *ii. Consistencia.*

Esta prueba se realizó por dos métodos:

#### **1. Consistómetro de Bostwick (Prueba empírica):**

La cual es una prueba que consistió en colocar 98 mL de jarabe en el contenedor a temperatura ambiente, con un ángulo de inclinación de 30° y la lectura de la distancia recorrida se tomó a los 5 s, con lo cual se calculó la velocidad.

Equipo: Consistómetro de Bostwick (24 925) con las siguientes dimensiones 35.6 largo x 8.9 ancho x 14 altura cm.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2. **Texturómetro TA-NT2 (Prueba imitativa):**

La prueba consiste básicamente en lo siguiente:

- \* Es una prueba de medir fuerza en compresión.
- \* Se le indica al instrumento que la punta o sensor comprima el alimento cierta distancia (5 mm) a una velocidad de 2 mm/s. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra y esta será el punto de referencia. En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada (5 mm).
- \* La punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de la prueba (distancia de referencia).
- \* El tiempo total de duración de la prueba es de 20 s

Durante todo este proceso, la punta detecta la fuerza y se obtiene la curva fuerza-tiempo. En el ciclo de compresión se mide la consistencia y en la retirada de la sonda, las propiedades adhesivas.

La forma de la curva puede variar de la presentada como típica. Básicamente en las alturas de los picos positivos y negativos, las áreas bajos estos picos, la presencia de picos secundarios, la presencia, altura y áreas negativas.

Las fuerzas positivas indican la resistencia que ofrece la muestra a la penetración o compresión por parte de la punta en el proceso de bajada. Las fuerzas negativas indican la fuerza debido a la muestra que se adhiere al retirarse el sensor (Casas y Ramírez, 1998).

3. Para esta prueba se colocó una muestra de jarabe en cajas Petri (5 cm de diámetro x 1 cm de altura) hasta el borde, en la cual debe de penetrar un cilindro de acrílico 0.5 cm; se programó el equipo para que opere a una precarga de 1 g y una velocidad de prueba de 2.0 mm/s a 25° C.



La prueba en ambos casos se realizó por triplicado. Los parámetros de la prueba con el texturómetro se obtuvieron a través del programa del equipo (macro, ver anexo 1), tal como se muestra en la figura 17.

El equipo utilizado fue el Texturómetro TA-XT2 con una celda de carga de 98.07 N, con un cilindro de acrílico de  $2.54 \text{ E}^{-2} \text{ m}$  de diámetro x  $5.08 \text{ E}^{-2} \text{ m}$  de longitud TA 11.

iii. *Adhesividad.*

Esta prueba se llevó a cabo en el Texturómetro TA-XT2 la cual consiste en colocar una muestra de jarabe en cajas Petri (5 cm de diámetro x 1 cm de altura), hasta la mitad de la misma, en la cual debe de penetrar un cilindro de acrílico 0.5 cm; se programó el equipo para operar a una precarga de 5 g, una velocidad de prueba de 1.7 mm/s y una distancia de separación después de la prueba de 100 mm a 25° C.

La prueba en ambos casos se realizó por triplicado. Los parámetros de la prueba se obtuvieron a través del programa del equipo (macro, ver anexo 2).

iv. *Análisis de datos.*

Análisis de datos para consistencia y adhesividad

En función de todo tipo de prueba y la aplicación de la misma (control de calidad, investigación, desarrollo) los datos de fuerzas, distancias, tiempos, volumen, etc. pueden reportarse de diferentes formas:

- ☞ Reporte directo de la variable de respuesta medida (tiempo, distancia, fuerza máxima, mínima), ya sea en forma de promedio con desviación estándar y coeficiente de variación.
- ☞ Cálculo de parámetros puntuales derivados de la variable medida y que se obtienen a través de alguna fórmula que involucra ciertas condiciones de la prueba: consistencia,

adhesividad, fuerza adhesiva y extensibilidad, obtenidos en forma manual asistido por calculadoras u hojas de cálculo.

- ⇒ Cálculo de parámetros como consistencia, adhesividad, fuerza adhesiva y extensibilidad, que se obtienen por medio del programa del equipo a partir de las curvas fuerza-distancia o distancia-tiempo. Asimismo, se pueden comparar gráficamente algunos de los parámetros mencionados obtenidos a partir de diferentes muestras (Casas y Ramírez, 1998).

Una curva típica de análisis de consistencia y adhesividad, de un jarabe de chocolate, es como se muestra en la figura 18.

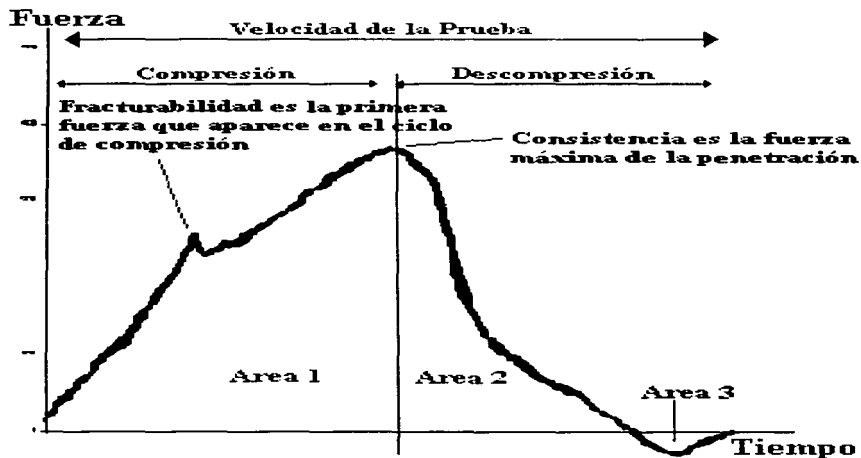


FIGURA 18. Curva típica de Fuerza de Fluencia del tiempo para determinar Consistencia y Adhesividad (Texture Technologies, 2002).

De la curva modelo de consistencia y adhesividad se extraen dos parámetros texturales definidos como:

- 1) **CONSISTENCIA:** Es la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (H).
- 2) **ADHESIVIDAD:** El área negativa del primer ciclo de compresión ( $A_3$ ). Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra.

Los parámetros antes mencionados se calculan a partir de la curva de fuerza-tiempo con ayuda del software que cada equipo proporciona (Casas y Ramírez, 1998).

#### Análisis de resultados para el diseño de mezclas

Se empleó el programa Design Expert para obtener el diseño experimental que se siguió durante este estudio, es decir, el número y proporciones de cada mezcla (ver cuadro 2 y 4).

Además ya con los datos experimentales se obtuvieron los gráficos y ecuaciones de predicción a través del análisis de resultados de los datos con este programa.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. RESULTADOS DE VARIACION DE RESULTADOS

#### 3.1.1. RESULTADOS DE CONSISTENCIA

En las figuras 19, 20 y 21 se muestran las curvas fuerza en función del tiempo obtenidas en el Texturómetro TA-XT2 para las diferentes formulaciones estudiadas. Donde la consistencia está representada por la fuerza máxima.

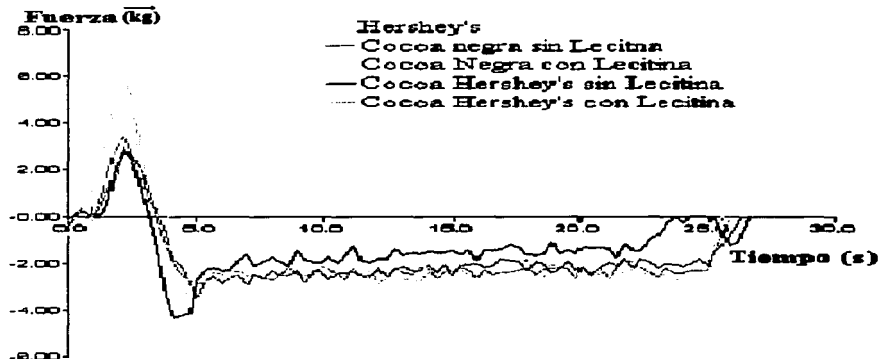


FIGURA 19: Diagrama fuerza-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y con dos cocoas diferentes).

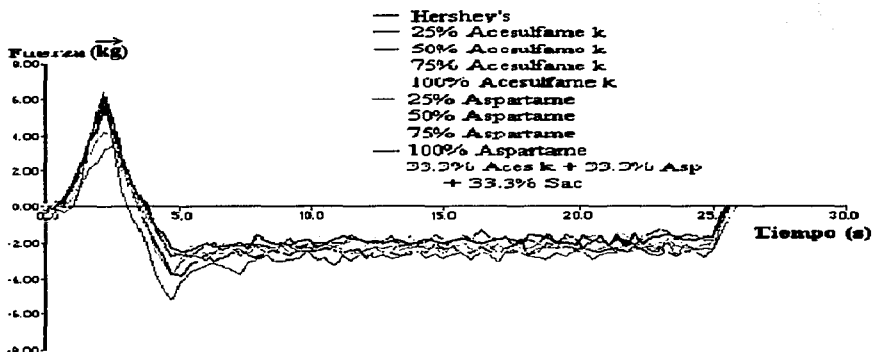


FIGURA 20: Diagramas fuerza-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y sustituyendo los edulcorantes).

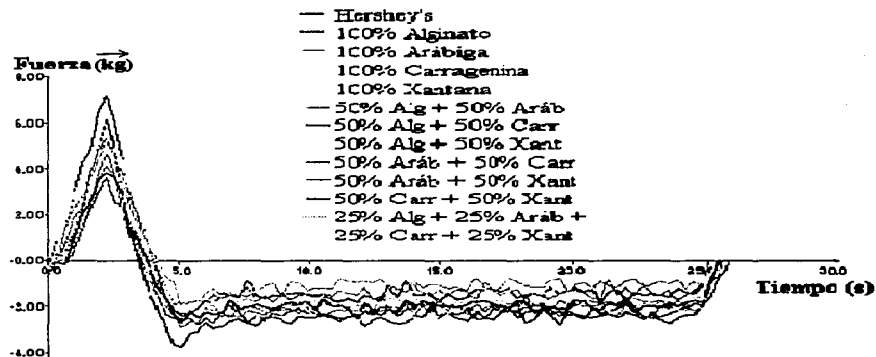


FIGURA 21: Diagramas fuerza-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y sustituyendo polisacáridos).

De las Figuras 19, 20 y 21, se obtuvieron los valores de consistencia como se indica en la Fig. 17 del capítulo de materiales y métodos, en las cuales se puede apreciar que los valores de consistencia de los jarabes experimentales están por abajo y por arriba del valor del jarabe patrón.

Éstas también presentan un área adhesiva importante en todos los casos, sin embargo esta área no presenta tendencias claras, por lo que se decidió hacer el análisis de este parámetro en las pruebas específicas y es por esto que sólo se presenta el análisis de la consistencia.

**CUADRO 5: Datos de consistencia obtenidos en el Texturómetro TA-XT2.**

| <b>FORMULACIONES</b>                 | <b>FUERZA (kg)</b> | <b>FORMULACIONES</b>                                 | <b>FUERZA (kg)</b> |
|--------------------------------------|--------------------|--|--------------------|
| Hershey's                            | 0.007              | 33.3% Sac + 33.3% Aces K + 33.3% Asp + Maltodextrina | 0.006              |
| Cocoa negra sin lecitina             | 0.004              | 1% Alginato  | 0.004              |
| Cocoa negra con lecitina             | 0.005              | 1% Goma Arábica                                      | 0.005              |
| Cocoa Hershey's sin lecitina         | 0.003              | 1% Carragenina                                       | 0.005              |
| Cocoa Hershey's con lecitina         | 0.004              | 1% Xantana   | 0.006              |
| 75% Sac + 25% Aces K + Maltodextrina | 0.006              | 0.5% Alg + 0.5% Aráb                                 | 0.005              |
| 50% Sac + 50% Aces K + Maltodextrina | 0.006              | 0.5% Alg + 0.5% Carr                                 | 0.008              |
| 25% Sac + 75% Aces K + Maltodextrina | 0.006              | 0.5% Alg + 0.5% Xant                                 | 0.006              |
| 0% Sac + 100% Aces K + Maltodextrina | 0.005              | 0.5% Aráb + 0.5% Carr                                | 0.006              |
| 75% Sac + 25% Asp + Maltodextrina    | 0.005              | 0.5% Aráb + 0.5% Xant                                | 0.004              |
| 50% Sac + 50% Asp + Maltodextrina    | 0.004              | 0.5% Carr + 0.5% Xant                                | 0.007              |
| 25% Sac + 75% Asp + Maltodextrina    | 0.005              | 0.25% Alg + 0.25% Arab + 0.25% Carr + 0.25% Xant     | 0.006              |
| 0% Sac + 100% Asp + Maltodextrina    | 0.007              |  |                    |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CUADRO 6:** Datos de consistencia obtenidos en el Consistómetro de Bostwick.

| FORMULACIONES                           | DISTANCIA (cm) | FORMULACIONES   | DISTANCIA (cm) |
|---|----------------|---|----------------|
| Hershey's                               | 13.0           | 33.3% Sac + 33.3% Aces K +<br>33.3% Asp + Maltodextrina | 15.0           |
| Cocoa negra sin lecitina                | 19.0           | 1% Alginato   | 11.5           |
| Cocoa negra con lecitina                | 17.0           | 1% Goma Arábica   | 14.0           |
| Cocoa Hershey's sin lecitina            | 18.5           | 1% Carragenina  | 12.0           |
| Cocoa Hershey's con lecitina            | 16.0           | 1% Xantana  | 11.5           |
| 75% Sac + 25% Aces K +<br>Maltodextrina | 12.5           | 0.5% Alg + 0.5% Arab                                    | 12.5           |
| 50% Sac + 50% Aces K +<br>Maltodextrina | 13.0           | 0.5% Alg + 0.5% Carr                                    | 10.0           |
| 25% Sac + 75% Aces K +<br>Maltodextrina | 14.0           | 0.5% Alg + 0.5% Xant                                    | 11.5           |
| 0% Sac + 100% Aces K +<br>Maltodextrina | 14.5           | 0.5% Arab + 0.5% Carr                                   | 13.5           |
| 75% Sac + 25% Asp +<br>Maltodextrina    | 16.0           | 0.5% Arab + 0.5% Xan                                    | 14.5           |
| 50% Sac + 50% Asp +<br>Maltodextrina    | 15.5           | 0.5% Carr + 0.5% Xant                                   | 13.5           |
| 25% Sac + 75% Asp +<br>Maltodextrina    | 15.0           | 0.25% Alg + 0.25% Arab +<br>0.25% Carr + 0.25% Xant     | 13.0           |
| 0% Sac + 100% Asp +<br>Maltodextrina    | 14.5           |   |                |

Los datos mostrados en los cuadros 5 y 6, corresponden a los valores obtenidos de consistencia en el Texturometro TA-XT2 y en el Consistometro de Bostwick, respectivamente, cuyos resultados muestran concordancia en el comportamiento cuando se comparan los valores del chocolate Hershey's y los elaborados con cocoa con el jarabe patrón (Jarabe de Chocolate Comercial Hershey's).

En el caso de la consistencia de Bostwick se observan valores cercanos de los jarabes preparados con diferentes edulcorantes y gomas a la del chocolate comercial Hershey's, alrededor de 13 cm. De igual manera, la consistencia de los productos elaborados en los mismos productos obtenida en el Texturometro presenta valores cercanos a 0.007 kg.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En ambos cuadros (5 y 6) se aprecia lo siguiente:

En el caso de los jarabes que no tienen sustitutos, la variación en la consistencia existente entre cada jarabe se puede atribuir al tipo de cocoa empleada en la formulación (cocoa negra y cocoa Hershey's); de lo cual con la cocoa negra se obtiene un jarabe más fluido que con la cocoa Hershey's. Por otro lado, con la presencia de lecitina también se observa una repercusión en el resultado, ya que con la adición de ésta se obtiene un aumento en el valor de la consistencia.

Con la sustitución de sacarosa se tiene un comportamiento en el que la proporción de la maltodextrina determina la consistencia final del producto, de acuerdo a lo reportado en la figura 15.

Ya que en el caso de los jarabes que contienen acesulfame k se ve que la variación de la consistencia es proporcional a la concentración de maltodextrina e inversamente proporcional a la concentración de sacarosa.

Mientras que para los jarabes que contienen aspartame se observa que la variación de la consistencia es inversamente proporcional a la concentración de la maltodextrina y de la concentración de aspartame, esto puede ser debido a que existe una mayor interacción entre las macromoléculas de la maltodextrina con el aspartame, mientras que con el acesulfame k la interacción pareciera que es menor o no existe.

En la combinación de los tres edulcorantes, se muestra que la interacción resultante proporciona un jarabe de chocolate con menor consistencia en comparación con los jarabes elaborados con acesulfame k y con una consistencia similar a la de los jarabes con aspartame en las dos pruebas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En relación a los polisacáridos, en el cuadro 5 que representa los datos de consistencia medida en el Texturómetro TA-TX2, se tiene a excepción del jarabe elaborado con xantana, que los jarabes con mezclas de polisacáridos muestran una mayor consistencia, indicando un posible sinergismo entre los polisacáridos dado que desarrollan mayor consistencia en la mezcla que por separado.

Sin embargo, los datos del cuadro 6 muestran una tendencia diferente, siendo la goma xantana la que mostró una alta consistencia (debido a la alta capacidad de retención de agua, así como de formar soluciones viscosas) y los jarabes elaborados con mezclas de polisacáridos son los que presentan una menor consistencia.

Esta discrepancia de los datos se debe probablemente al manejo de las muestras para su evaluación.

Se puede decir de los datos obtenidos de la prueba en el Texturómetro, el volumen de muestra empleado es menor que el utilizado en la prueba del Consistómetro. Con el primer volumen las series de muestras se prepararon en un mismo tiempo, creando así un tiempo de espera en la medición de cada muestra pudiéndose así haber formado una capa en la superficie que afecte a los resultados obtenidos y por lo tanto menos confiable.

En los cuadros analizados también se muestra el comportamiento del Jarabe Hershey's que fue utilizado como referencia.

Por lo tanto de todo lo anterior podemos decir que las formulaciones con consistencia cercana al jarabe patrón son las que contienen:

- 50% acesulfame k.
- Mezcla de los cuatro polisacáridos a una proporción del 25% cada uno.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Empleando los datos de consistencia obtenidos en el Texturómetro TA-XT2, se realizó el análisis estadístico con el programa Desing-Expert para obtener las superficies de predicción, las cuales se muestran en la figura 22 y 23 respectivamente, las cuales indican el comportamiento de las mezclas con las muestras estudiadas.

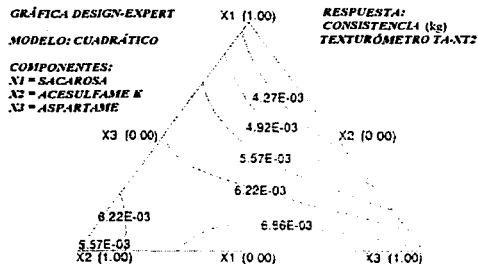
En la figura 22 en dos dimensiones se cuenta con tres ejes, cada uno de estos representa un componente, el punto central del triángulo representa el cruce de los tres componentes. La figura muestra una serie de líneas que representan el comportamiento de la variable evaluada en función de los cambios de proporción de cada componente en la mezcla. El programa proporciona la ecuación matemática que representa el efecto de las variables X1, X2, X3 y las combinaciones.

Por ejemplo en el caso de la figura 22 muestra la tendencia de la consistencia en proporción de sus componentes. De esta gráfica se puede obtener el valor más próximo a la consistencia deseada (Jarabe Hershey's =  $7.0E-03$  kg) y en este caso se toma el valor de  $6.86E-03$  kg sobre el gráfico que corresponde al  $60\%X3 + 30\% X2 + 10\% X1$ , estos datos son obtenidos haciendo el cálculo manualmente. Sin embargo el Software muestra o proporciona el valor más exacto de combinación al real ( $7.0E-03$ kg) siendo entonces  $44.87X2 + 53.55 X3$ .

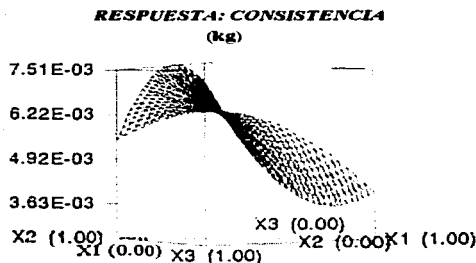
Mientras que la figura 23 muestra un plano tridimensional en el que se observa la misma tendencia del comportamiento de los componentes, mostrando la superficie de respuesta de la variable estudiada.

El programa proporciona la ecuación de predicción de la variable estudiada la influencia de los componentes cuando se obtienen coeficientes con signos positivos (+) se dice que la mezcla de los componentes tiene un efecto de aumento en el parametro estudiado y sucede lo contrario cuando el signo es negativo (-); esta ecuación nos ayuda a obtener los valores de consistencia con proporciones de mezclas no estudiadas; la cual se indica despues de cada figura.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 22:** Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el Texturómetro T.A-NT2.



**FIGURA 23:** Comportamiento de la consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el Texturómetro T.A-NT2.

Consistencia del jarabe Hershey's a igualar =  $7.0E-03$  kg

La combinación que proporciona un valor similar =:  $44.87 X2 + 53.55 X3$

Ecuación general de predicción de consistencia =  $4.0E-03 X1 + 5.46E-03 X2 + 7.0E-03 X3 + 6.0E-03 X1X2 - 6.0E-03 X1X3 + 4.62E-03 X2X3$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En las Figuras 22 y 23, se observa que el valor de la consistencia analizado en el texturómetro aumenta proporcionalmente con el acesulfame k (recordando que la maltodextrina es la que determina la consistencia del jarabe).

Mientras que en la ecuación de predicción podemos observar que el edulcorante por si solo no representa gran efecto en el producto, ya que nuevamente en este caso no son un factor que determinen la consistencia.

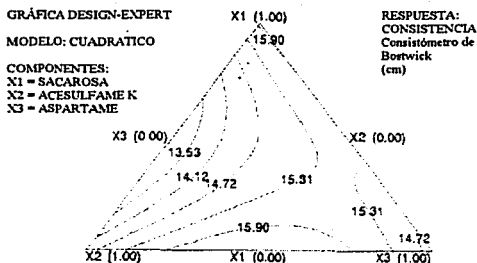


FIGURA 24: Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el Consistómetro de Bostwick.

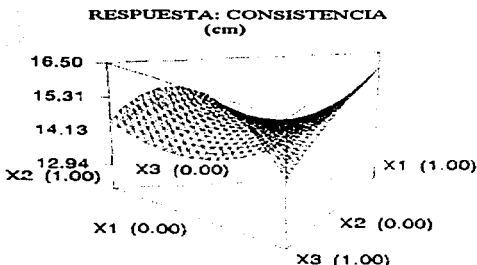


FIGURA 25: Comportamiento de la consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes en el Consistómetro de Bostwick.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Consistencia del jarabe Hershey's a igualar = 13.0 cm

La combinación que proporciona un valor similar =:  $66.5 X_2 + 33.01 X_3$

Ecuación general de predicción de consistencia =  $16.0 X_1 + 14.5 X_2 + 14.5 X_3 - 9.0 X_1 X_2 + 1.0 X_1 X_3 + 8.0 X_2 X_3$

En las figuras 24 y 25 se presentan los resultados del Consistómetro de Bostwick, se muestra también la ecuación de predicción que contiene los valores por los que se ven afectados cada componente, donde se observa que los edulcorantes no tienen un gran efecto en la consistencia. También se puede apreciar que cuando aumenta la proporción del aspartame va aumentando el valor de la consistencia.

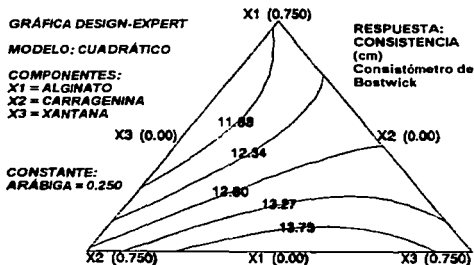
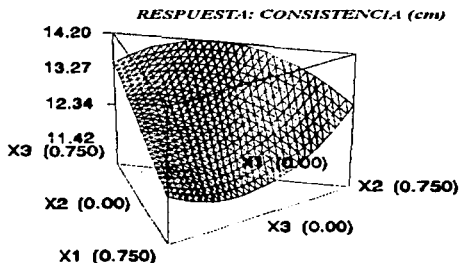


FIGURA 26: Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos en el Consistómetro de Bostwick.



**FIGURA 27:** Comportamiento de la consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos en el Consistómetro de Bostwick.

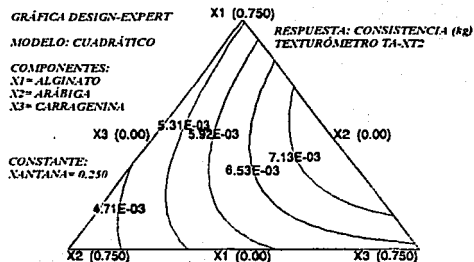
*Consistencia del jarabe Hershey's a igualar = 13kg*

*La combinación que proporciona un valor similar = 22.18 X1 + 22.88 X2 + 29.94 X3 + 25.00 X4*

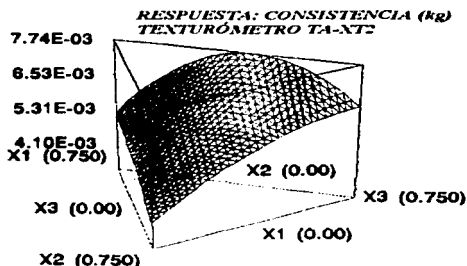
*Ecuación general de predicción de consistencia = 11.47 X1 + 13.976 C + 11.976 X2 + 11.476 X3 - 0.707 X1C - 6.805 X1X2 + 0.195 X1X3 + 2.195 CX2 + 7.195 CX3 + 7.195 X2X3*

Donde: C = Cte. Arábigo.

En las figuras 26 y 27 se observa que existe sinérgismo entre la carragenina y la xantana debido a que con esta combinación se ve incrementado el valor de la consistencia. Y con respecto a su ecuación se aprecia que no hay una gran variación entre cada uno de los polisacáridos por sí solos y en combinación ésta si se ve afectada.



**FIGURA 28:** Comportamiento de la consistencia en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos en el Texturómetro TA-XT2.



**FIGURA 29:** Comportamiento de consistencia en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos en el Texturómetro TA-XT2.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

*Consistencia del jarabe Hershey's a igualar* =  $7.0E-03$  kg

La combinación que proporciona un valor similar =  $32.46 X1 + 12.69 X2 + 29.85 X3 + 25.00 X4$

*Ecuación general de predicción de consistencia* =  $4.049 E^{-03} X1 + 5.049 E^{-03} X2 + 5.049 E^{-03} X3 + 6.049 E^{-03} C + 1.415 E^{-03} X1X2 + 13.61 E^{-03} X1X3 + 3.61 E^{-03} X1C + 3.61 E^{-03} X2X3 - 6.39E^{-03} X2C + 5.61 X3C$ .

Donde: C = Cte. Xantana.

En las figuras 28 y 29, se observa que el valor de la consistencia aumenta en proporción con la goma Arábica. Cuando en la ecuación de predicción se aprecia que no existe gran variación entre las proporciones de los polisacáridos.

En ambas figuras (28 y 29) se aprecia un componente constante, esto es debido a que el programa Desing Expert puede trabajar hasta 40 componentes graficando y modificando solo tres de éstos y manteniendo el resto como constante.

En este trabajo se estudio el efecto de 4 componentes, dejando como constante a la xantana en una proporción del 25%, ya que es el polisacárido que tiene más repercusión en este parámetro, modificando así la constante para cada parámetro estudiado.

### **3.1.2. RESULTADOS DE ADHESIVIDAD**

En la figuras 30, 31 y 32 se muestran las curvas de Adhesividad obtenidas en el Texturómetro TA-XT2.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



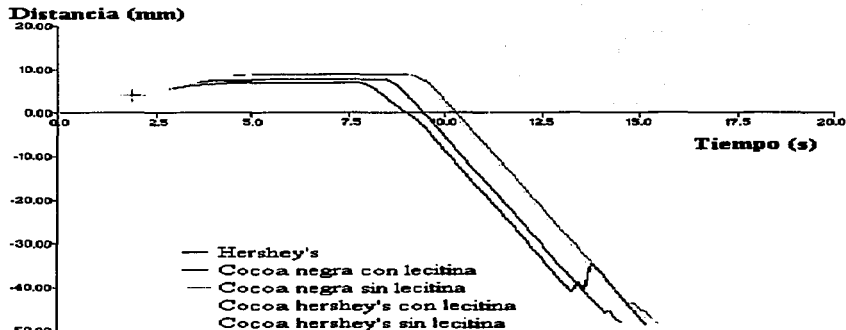


FIGURA 30. Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y con dos coacas diferentes).

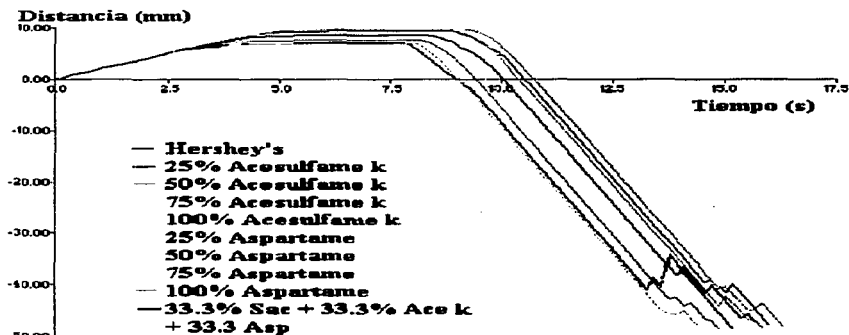
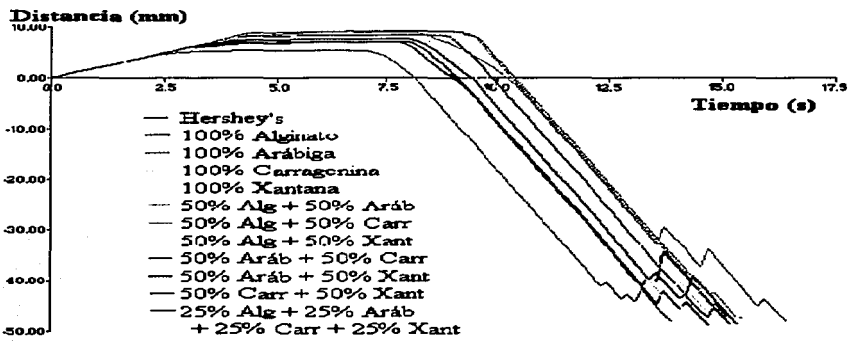


FIGURA 31. Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y sustituyendo edulcorantes).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 32.** Diagrama distancia-tiempo de los jarabes de chocolate (patrón y adicionando polisacáridos).

De la prueba de adhesividad se pueden obtener diversos parametros.

De los resultados obtenidos se seleccionaron aquellos más representativos del tipo de muestra trabajado (adhesividad, fuerza adhesiva y extensibilidad) que se muestran en los cuadros 7, 8 y 9.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.1.2.1. Adhesividad

**CUADRO 7: Datos de adhesividad obtenidos en el Texturómetro TA-XT2.**

| FORMULACIONES                           | ADHESIVIDAD<br>(kg * s) | FORMULACIONES   | ADHESIVIDAD<br>(kg * s) |
|---|-------------------------|---|-------------------------|
| Hershey's                               | -0.055                  | 33.3% Sac + 33.3% Aces K +<br>33.3% Asp + Maltodextrina | -0.041                  |
| Cocoa negra sin lecitina                | -0.05                   | 1% Alginato   | -0.049                  |
| Cocoa negra con lecitina                | -0.04                   | 1% Goma Arábiga   | -0.043                  |
| Cocoa Hershey's sin lecitina            | -0.031                  | 1% Carragenina  | -0.046                  |
| Cocoa Hershey's con lecitina            | -0.052                  | 1% Xantana  | -0.041                  |
| 75% Sac + 25% Aces K +<br>Maltodextrina | -0.042                  | 0.5% Alg + 0.5% Aráb                                    | -0.039                  |
| 50% Sac + 50% Aces K +<br>Maltodextrina | -0.05                   | 0.5% Alg + 0.5% Carr                                    | -0.031                  |
| 25% Sac + 75% Aces K +<br>Maltodextrina | -0.034                  | 0.5% Alg + 0.5% Xant                                    | -0.022                  |
| 0% Sac + 100% Aces K +<br>Maltodextrina | -0.054                  | 0.5% Aráb + 0.5% Carr                                   | -0.027                  |
| 75% Sac + 25% Asp +<br>Maltodextrina    | -0.043                  | 0.5% Aráb + 0.5% Xant                                   | -0.043                  |
| 50% Sac + 50% Asp +<br>Maltodextrina    | -0.05                   | 0.5% Carr + 0.5% Xant                                   | -0.021                  |
| 25% Sac + 75% Asp +<br>Maltodextrina    | -0.042                  | 0.25% Alg + 0.25% Aráb +<br>0.25% Carr + 0.25% Xant     | -0.024                  |
| 0% Sac + 100% Asp +<br>Maltodextrina    | -0.064                  |   |                         |

En el cuadro 7 se ve claramente que la presencia de lecitina tiene en sí un efecto sobre la adhesividad en los jarabes elaborados. El jarabe con la cocoa negra sin lecitina presenta un alto valor de adhesividad, mientras que con la adición de lecitina el jarabe se vuelve menos adhesivo; en el caso de la cocoa Hershey's sucede lo contrario.

El jarabe por si solo tiene una característica adhesiva, en presencia de los sustitutos de azúcar no existe una fuerte influencia en la adhesividad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la utilización de polisacáridos podemos observar que éstos disminuyen el valor de adhesividad; el jarabe elaborado al 1% de xantana (-0.041kg/s) proporciona un jarabe con menos adhesividad que el patrón, mientras que en el que se sustituyó el 1% de alginato (-0.049kg/s) proporciona mayor adhesividad.

Dentro de las combinaciones de mezclas utilizadas observamos que todas éstas presentan valores de adhesividad bajos comparados con el valor del jarabe patrón pero aún así vemos que la combinación de goma arábica + xantana (-0.043kg/s) es la que muestra el valor más alto de adhesividad, mientras que la combinación carragenina + xantana (-0.021kg/s) su valor de adhesividad es el más bajo, con la combinación de las cuatro gomas, se observa que la adhesividad es muy baja.

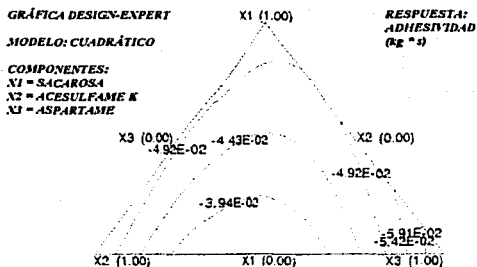
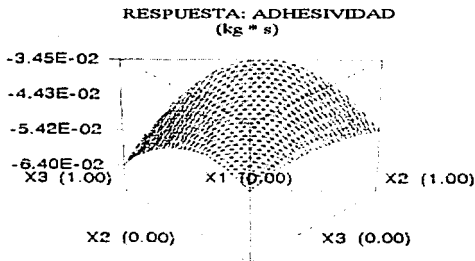


FIGURA 33: Comportamiento de adhesividad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 34:** Comportamiento de adhesividad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

*Adhesividad del jarabe Hershey's a igualar = - 5.5E-02 kg \* s.*

*La combinación que proporciona un valor similar = 13.58 X1 + 85.98 X3*

*Ecuación general de predicción de adhesividad = - 5.2E-02 X1 - 5.4E-02 X2 - 6.4E-02 X3 + 1.2E-02 X1X2 + 3.2E-02 X1X3 + 9.7E-02 X2X3*

En las figuras 33 y 34 se puede observar que los sustitutos tienen poca influencia en la adhesividad, esto se observa por la magnitud de los valores en la figura.

Esta información se corrobora con los coeficientes encontrados en la ecuación de predicción, que además por tener signo negativo implican que la presencia de los edulcorantes disminuye la adhesividad, aunque en muy baja proporción.

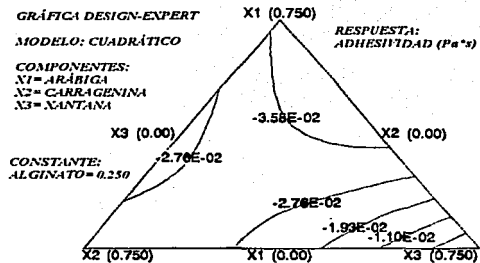


FIGURA 35: Comportamiento de adhesividad en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

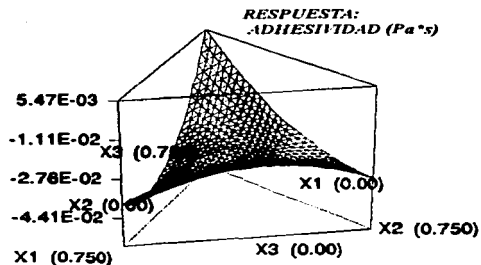


FIGURA 36: Comportamiento de adhesividad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

*Adhesividad del jarabe Hershey's a igualar = - 5.5E-02 kg \* s.*

*La combinación que proporciona un valor similar =: 55.85 X1 + 0.016 X2 + 18.99 X3 + 25.00 X4*

*Ecuación general de predicción de adhesividad = - 4.99E-02 C - 4.394E-02 X1 - 4.694E-02 X2 + 4.006E-02 X3 + 3.927E-02 CX1 + 7.351E-02 CX2 - 6.449E-02 CX3 + 7.751E-02 X1X2 - 16.049E-02 X1X3 - 6.649E-02 X2X3*

Donde: C = Cte. Alginato.

En la figura 35 y 36 se observa que a mayor concentración de xantana menor es el valor de adhesividad, en la ecuación la xantana también muestra un gran efecto en este parámetro del jarabe siendo el único componente que presenta signo positivo (+).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.1.2.2. Fuerza adhesiva

**CUADRO 8:** Datos de fuerza adhesiva obtenidos en el Texturómetro TA-XT2.

| FORMULACIONES                        | FUERZA ADHESIVA (kg) | FORMULACIONES  | FUERZA ADHESIVA (kg) |
|--------------------------------------|----------------------|--|----------------------|
| Hershey's                            | 0.820                | 33.3% Sac + 33.3% Aces K + 33.3% Asp + Maltodextrina | 0.708                |
| Cocoa negra sin lecitina             | 0.868                | 1% Alginato  | 1.406                |
| Cocoa negra con lecitina             | 0.738                | 1% Goma Arábiga                                      | 0.735                |
| Cocoa Hershey's sin lecitina         | 1.132                | 1% Carragenina                                       | 0.645                |
| Cocoa Hershey's con lecitina         | 1.282                | 1% Xantana   | 1.035                |
| 75% Sac + 25% Aces K + Maltodextrina | 0.815                | 0.5% Alg + 0.5% Aráb                                 | 0.897                |
| 50% Sac + 50% Aces K + Maltodextrina | 1.045                | 0.5% Alg + 0.5% Carr                                 | 1.289                |
| 25% Sac + 75% Aces K + Maltodextrina | 1.276                | 0.5% Alg + 0.5% Xant                                 | 1.243                |
| 0% Sac + 100% Aces K + Maltodextrina | 1.297                | 0.5% Aráb + 0.5% Carr                                | 1.03                 |
| 75% Sac + 25% Asp + Maltodextrina    | 1.119                | 0.5% Aráb + 0.5% Xant                                | 0.605                |
| 50% Sac + 50% Asp + Maltodextrina    | 1.120                | 0.5% Carr + 0.5% Xant                                | 1.174                |
| 25% Sac + 75% Asp + Maltodextrina    | 1.256                | 0.25% Alg + 0.25% Aráb + 0.25% Carr + 0.25% Xant     | 1.058                |
| 0% Sac + 100% Asp + Maltodextrina    | 1.263                |  |                      |

Analizando el cuadro 8 podemos decir que en los jarabes elaborados sin sustitutos presentan un comportamiento distinto entre los tipos de cocoa empleados por el contenido de grasa existente en cada uno de ellos siendo la cocoa Hershey's la que contiene un mayor porcentaje.

Para el caso de los edulcorantes se aprecia que a mayor concentración de maltodextrina y edulcorante, y menor concentración de sacarosa, la fuerza adhesiva aumenta, debido a la influencia del maltodextrina en la consistencia y cohesividad del jarabe.

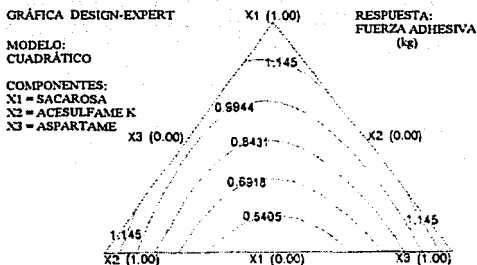
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



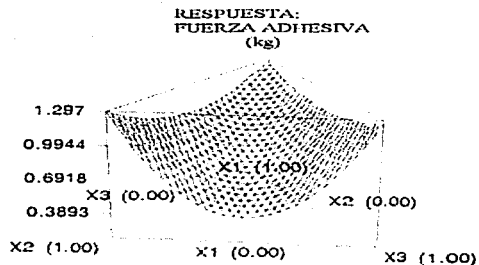
En el caso de los jarabes formulados con polisacáridos, se observa que el alginato y sus mezclas presentan los valores más altos de fuerza adhesiva, en tanto que la carragenina y la arábica tienen las menores fuerzas.

Dentro de la combinación de gomas la que presenta una mayor fuerza adhesiva es carragenina + alginato (1.289 kg) mientras que arabiga + xantana (0.605 kg) presenta una menor fuerza adhesiva.

Concluyendo que el jarabe que sigue el mismo comportamiento para este parámetro que el jarabe patrón es el que está elaborado con 25% acesulfame k (0.815 kg).



**FIGURA 37:** Comportamiento de fuerza adhesiva en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.



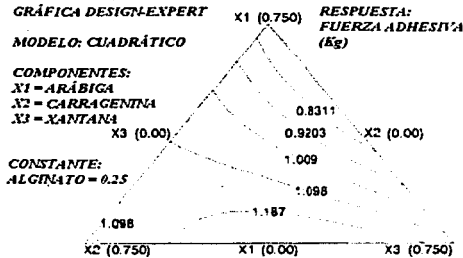
**FIGURA 38:** Comportamiento de fuerza adhesiva en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

*Fuerza adhesiva del jarabe Hershey's a igualar = 0.82 kg*

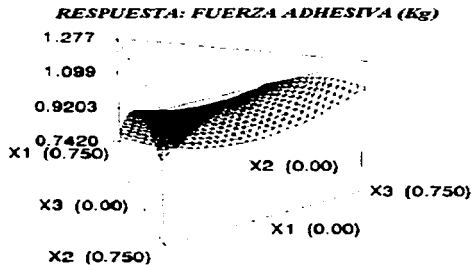
*La combinación que proporciona un valor similar =:  $50.0 X2 + 50.0 X3$*

*Ecuación general de predicción de fuerza adhesiva =  $1.282 X1 + 1.297 X2 + 1.262 X3 - 0.978 X1X2 - 0.6121 X1X3 - 3.561 X2X3$*

En las figuras 37 y 38 se observa que al aumentar la concentración de sacarosa se obtiene una mayor fuerza adhesiva. Mientras que en la ecuación de predicción se aprecia el efecto de los edulcorantes sobre el parámetro de fuerza adhesiva, ya que cuando se presentan por sí solos tienen una influencia positiva en este parámetro, pero cuando están presentes en mezcla el valor de la fuerza adhesiva tiende a disminuir.



**FIGURA 39:** Comportamiento de fuerza adhesiva en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.



**FIGURA 40:** Comportamiento de fuerza adhesiva en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

Fuerza adhesiva del jarabe Hershey's a igualar = 0.82 kg

La combinación que proporciona un valor similar =:  $48.79 X1 + 0.486 X2 + 21.34 X3 + 25.00 X4$

X4

Ecuación general de predicción de fuerza adhesiva =  $1.408 C + 0.737 X1 + 0.647 X2 + 1.037 X3 - 0.722 CX1 + 1.035 CX2 + 0.071 CX3 + 1.341 X1X2 - 1.139 X1X3 + 1.317 X2X3$

Donde: C = Cte. Alginato.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En las figuras 39 y 40 se observa que a menor concentración de arábica mayor va a ser el valor de la fuerza adhesiva. En la ecuación de predicción se aprecia que la xantana presenta un mayor efecto en este parámetro en comparación con los demás polisacáridos.

### 3.1.2.3. Extensibilidad

En el cuadro 9 se muestran los resultados referidos a la extensibilidad de la prueba de adhesividad.

**CUADRO 9:** Datos de extensibilidad obtenidos en el Texturómetro T1-AT2.

| FORMULACIONES                | EXTENSIBILIDAD (mm) | FORMULACIONES              | EXTENSIBILIDAD (mm) |
|------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| Hershey's                    | 55.863              | 33.3% Sac + 33.3% Aces K + |                     |
| Cocoa negra sin lecitina     | 57.865              | 33.3% Asp + Maltodextrina  | 57.238              |
| Cocoa negra con lecitina     | 56.342              | 1% Alginato                | 57.741              |
| Cocoa Hershey's sin lecitina | 59.69               | 1% Goma Arábica            | 57.601              |
| Cocoa Hershey's con lecitina | 57.827              | 1% Carragenina             | 56.507              |
| 75% Sac + 25% Aces K +       |                     | 1% Xantana                 | 57.121              |
| Maltodextrina                | 58.232              | 0.5% Alg + 0.5% Aráb       | 57.739              |
| 50% Sac + 50% Aces K +       |                     |                            |                     |
| Maltodextrina                | 58.607              | 0.5% Alg + 0.5% Carr       | 58.116              |
| 25% Sac + 75% Aces K +       |                     | 0.5% Alg + 0.5% Xant       | 56.868              |
| Maltodextrina                | 58.669              |                            |                     |
| 0% Sac + 100% Aces K +       |                     | 0.5% Aráb + 0.5% Carr      | 56.082              |
| Maltodextrina                | 57.570              |                            |                     |
| 75% Sac + 25% Asp +          |                     | 0.5% Aráb + 0.5% Xant      | 54.141              |
| Maltodextrina                | 55.849              |                            |                     |
| 50% Sac + 50% Asp +          |                     | 0.5% Carr + 0.5% Xant      | 56.43               |
| Maltodextrina                | 57.981              |                            |                     |
| 25% Sac + 75% Asp +          |                     | 0.25% Alg + 0.25% Aráb +   |                     |
| Maltodextrina                | 57.797              | 0.25% Carr + 0.25% Xant    | 56.456              |
| 0% Sac + 100% Asp +          |                     |                            |                     |
| Maltodextrina                | 56.609              |                            |                     |

TESIS CON  
FALLA DE CRUCE

Dentro de los jarabes elaborados sin substitutos se puede observar que con la adición de lecitina la extensibilidad disminuye debido a que con la adición de ésta se disminuye la tensión superficial del jarabe; a su vez se reporta que en una concentración del 0.1-0.5% reduce la viscosidad del chocolate y por la combinación de estos factores la extensibilidad del jarabe es menor.

Asimismo, se observa que el tipo de cocoa influye sobre este factor puesto que la cocoa negra presenta menor extensibilidad que la cocoa Hershey's por su alto contenido de grasa de esta última.

Con la utilización de edulcorantes se puede apreciar que tanto para el aspartame como el acesulfame k al incrementar la concentración de maltodextrina y disminuir la concentración de sacarosa, aumenta la extensibilidad debido a que al aumentar la concentración de edulcorante de un 25-75% se presenta una interacción entre maltodextrina y sacarosa, mientras que en el caso del 100% de edulcorantes, dicha interacción no se presenta dando como resultado una menor extensibilidad.

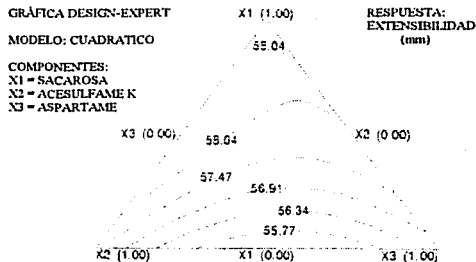
Con las gomas utilizadas se aprecia que la carragenina (56.507 mm) muestra un valor bajo de extensibilidad en comparación con los otros polisacáridos; mientras que xantana (57.12 mm), goma arábiga (57.6 mm) y alginato (57.74 mm) presentan una mayor extensibilidad por lo que es probable que su estructura sea más flexible que la formada por la carragenina (56.507 mm).

En el caso de las combinaciones de polisacáridos se ve que la interacción entre arábiga + xantana (54.141 mm) no favorece el valor de extensibilidad, ya que el valor es muy bajo en comparación con las demás combinaciones.

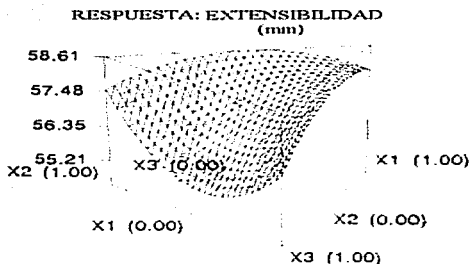
Concluyendo que para este parámetro la mejor combinación sería:

- 25% de Aspartame (55.849 mm) y
- 50% Arabiga + Carragenina (56.082 mm).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 41:** Comportamiento de extensibilidad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.



**FIGURA 42:** Comportamiento de extensibilidad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

Extensibilidad del jarabe Hershey's a igualar = 55.863 mm

La combinación que proporciona un valor similar =: 40.96 X2 + 59.37 X3

Ecuación general de predicción de extensibilidad = 57.827 X1 + 57.57 X2 + 56.609 X3 + 3.634 X1X2 + 3.052 X1X3 - 7.382 X2X3

Las figuras 41 y 42 muestran que el valor de extensibilidad es proporcional a la concentración de sacarosa, mientras en la ecuación no se observa un gran efecto sobre este parámetro, aunque es el coeficiente con más alto valor. Por otro lado, se observa que la presencia de mezclas tiene una pequeñísima influencia en la extensibilidad.

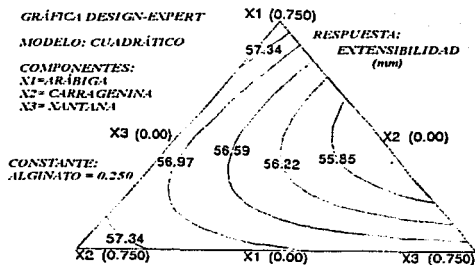


FIGURA 43: Comportamiento de extensibilidad en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

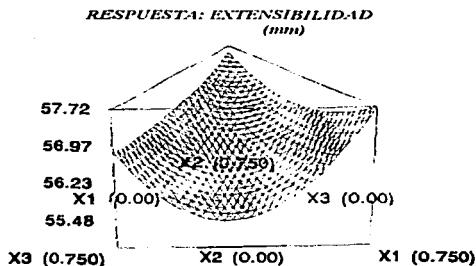


FIGURA 44: Comportamiento de extensibilidad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

*Extensibilidad del jarabe Hershey's a igualar = 55.863 mm*

*La combinación que proporciona un valor similar =: 34.68 X1 + 8.56 X2 + 31.76 X3 + 25.00 X4*

*Ecuación general de predicción de extensibilidad = 57.718 C + 57.578 X1 + 56.484 X2 + 57.098 X3 + 0.542 CX1 + 4.148 CX2 - 2.072 CX3 - 3.708 X1X2 - 12.66 X1X3 - 1.356 X2X3*

Donde: C = Cte. Alginato.

En las figuras anteriores (Figuras 43 y 44) se aprecia que conforme aumenta la carragenina aumenta el valor de extensibilidad y en la ecuación de predicción no se observa mucha variación.

### **3.1.3. PROPIEDADES DE FLUJO**

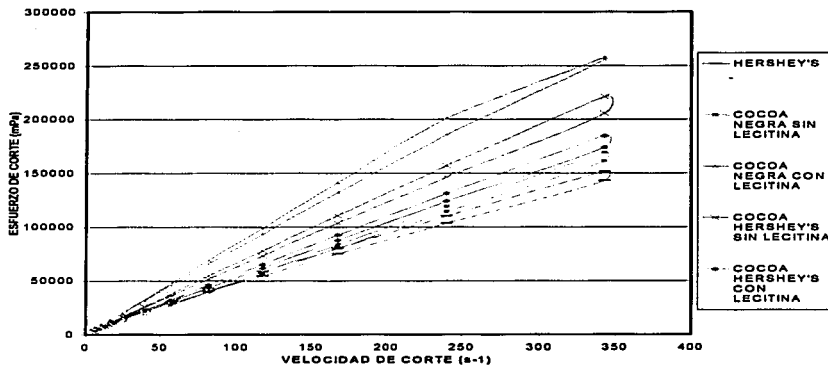
En la figura 45 se presentan las pruebas de flujo de los jarabes elaborados con dos tipos de cocoa con y sin lecitina. En éstas se observa que la curva de ascenso y descenso, indicando posible tixotropía.

El jarabe preparado con cocoa negra y lecitina presentó el mayor esfuerzo de corte para las velocidades de corte estudiadas, mientras que el Hershey's presenta la menor.

Se realizó un ajuste de las curvas para definir el modelo reológico. Se utilizaron todos los valores de ascenso y descenso para la regresión log-log del modelo de la potencia, se observan valores de  $n$  cercanos a la unidad y el coeficiente de determinación aceptable.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**FIGURA 45.** Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con dos distintas cocaos.

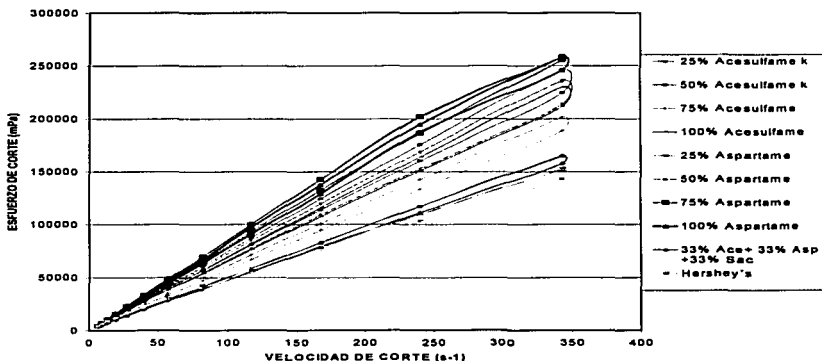
**CUADRO 10.** Resultados del comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con dos distintas cocaos.

| Tipo de Jarabe | Tipo de Fluido | R <sup>2</sup> | Viscosidad mPa·s |
|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Hershey's      | Newtoniano     | 0.996          | 424.430          |
| CNSL           | Newtoniano     | 0.999          | 486.058          |
| CNCL           | Newtoniano     | 0.996          | 771.086          |
| CHSL           | Newtoniano     | 0.997          | 626.817          |
| CHCL           | Newtoniano     | 0.998          | 524.800          |

Mientras que en el cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos del comportamiento al flujo de los jarabes elaborados con dos distintas cocaos, con y sin lecitina, en el cual se reafirma el comportamiento descrito en la figura 45, donde, se observa que el jarabe de chocolate con cocoa negra y con lecitina es el que presenta un mayor valor de viscosidad (que en el gráfico es representado como esfuerzo de corte), mientras que el del jarabe Hershey's es el de una menor viscosidad.

De acuerdo a la prueba de flujo realizada a los jarabes de chocolate y realizando el análisis de datos, y los gráficos obtenidos, se observa en el cuadro 11 y en la figura 45 que todos los jarabes elaborados, así como el jarabe Hershey's siguen el modelo newtoniano además sin dejar de mencionar que algunos presentaron un comportamiento ligeramente tixotrópico, debido a la posible sedimentación de la cocoa en el jarabe.

Esto se hace evidente al comparar las curvas de flujo de los jarabes con edulcorantes (figura 46), ya que tienen una separación mayor entre las curvas de ascenso y de descenso que las de los jarabes con polisacáridos (figura 47), en que esta separación disminuye.



**FIGURA 46.** Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con edulcorantes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CUADRO 11.** Resultados del comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con edulcorantes.

| Tipo de Jarabe                             | Tipo de Fluido | R <sup>2</sup> | Viscosidad mPas |
|--|----------------|----------------|-----------------|
| Hershey's                                  | Newtoniano     | 0.996          | 424.430         |
| 25% ace + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.995          | 659.030         |
| 50% ace + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.995          | 689.339         |
| 75% ace + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.997          | 568.790         |
| 100%ace + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.996          | 644.890         |
| 25%asp + Maltodextrina                     | Newtoniano     | 0.997          | 461.990         |
| 50% asp + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.995          | 770.403         |
| 75% asp + Maltodextrina                    | Newtoniano     | 0.995          | 771.024         |
| 100% asp + Maltodextrina                   | Newtoniano     | 0.996          | 754.141         |
| 33% sac, 33% ace y 33% asp + Maltodextrina | Newtoniano     | 0.999          | 470.070         |

En la figura 46 se muestra un comportamiento al flujo de los jarabes de chocolate elaborados con edulcorantes y con cocoa hershey's, así como el jarabe comercial hershey's; en la cual se observa un comportamiento similar al obtenido en las pruebas de textura, donde se encontro que es el aspartame quien provee de una mayor consistencia al producto, aún si esta diferencia no es muy alta, si es persistente en todos los casos, siendo el jarabe con 75% de aspartame el que presenta una mayor valor de esfuerzo de corte mientras que nuevamente el jarabe Hershey's es el que presenta un menor valor. Las curvas presentan un ligero comportamiento tixotrópico, puesto que éstas no coinciden en el ascenso y en el descenso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

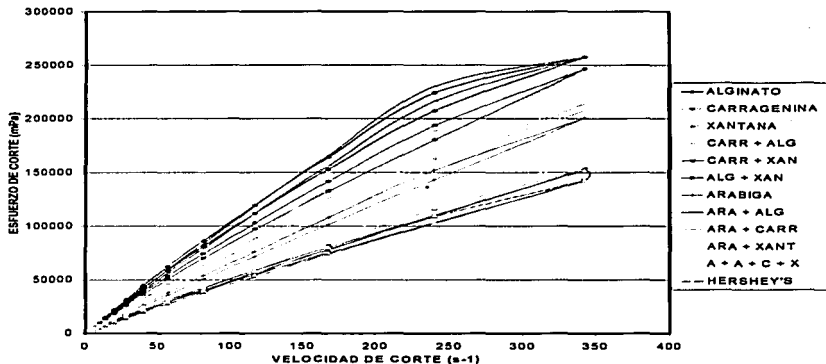


FIGURA 47. Curvas de flujo de jarabes de chocolate elaborados con polisacáridos.

CUADRO 12. Resultados del comportamiento al flujo de los distintos jarabes de chocolate elaborados con polisacáridos.

| Tipo de Jarabe                                  | Tipo de Fluido | de | R <sup>2</sup> | Viscosidad mPa·s | n     | K mPa·s <sup>n</sup> |
|---|----------------|----|----------------|------------------|-------|----------------------|
| Hershey's                                       | Newtoniano     |    | 0.996          | 424.430          |       |                      |
| 1% alginato                                     | Fluidificante  |    | 0.993          |                  | 0.953 | 1182.324             |
| 1% goma arábica                                 | Newtoniano     |    | 0.998          | 606.130          |       |                      |
| 1% carragenina                                  | Fluidificante  |    | 0.999          |                  | 0.970 | 559.630              |
| 1% xantana                                      | Newtoniano     |    | 0.996          | 632.310          |       |                      |
| 0.5% alg + 0.5% arab                            | Newtoniano     |    | 0.997          | 938.770          |       |                      |
| 0.5% alg + 0.5% carr                            | Fluidificante  |    | 0.997          |                  | 0.969 | 794.015              |
| 0.5% alg + 0.5% xant                            | Fluidificante  |    | 0.997          |                  | 0.944 | 1091.488             |
| 0.5% arab + 0.5% carr                           | Newtoniano     |    | 0.997          | 744.410          |       |                      |
| 0.5% arab + 0.5% xant                           | Fluidificante  |    | 0.999          |                  | 0.896 | 881.000              |
| 0.5% carr + 0.5% xant                           | Fluidificante  |    | 0.998          |                  | 0.944 | 610.254              |
| 0.25% alg + 0.25% ara + 0.25% carr + 0.25% xant | Fluidificante  |    | 0.998          |                  | 0.967 | 818.426              |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la fig. 47 se muestran las curvas de flujo de los jarabes de chocolate elaborados con 1% de polisacáridos donde se observa que el jarabe con un mayor valor de esfuerzo de corte es el que contiene la proporción del 100% de alginato y el jarabe Hershey's es de menor valor. En los jarabes con mezclas donde está presente el alginato son las que muestran mayor viscosidad. En cuanto a los polisacáridos puros es la carragenina la que muestra un menor poder espesante.

Se puede apreciar en la figura (fig. 47) se tiene un ligero efecto tixotrópico; y en el cuadro 12, se observa que algunos de los jarabes presentaron un comportamiento newtoniano y otros un comportamiento de fluido de la potencia.

En el cuadro 12, los valores de índice de consistencia (K) fueron comparados con los valores de viscosidad puesto que estos son correspondientes cuando "n" es igual a 1 en un fluido de la Potencia.

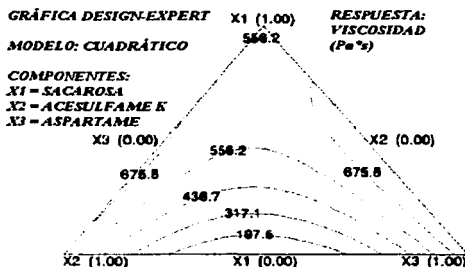
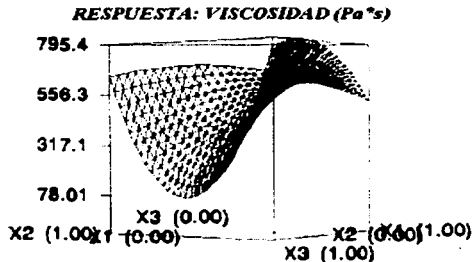


FIGURA 48: Comportamiento de viscosidad en 2-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 49:** Comportamiento de viscosidad en 3-D de jarabes de chocolate con edulcorantes.

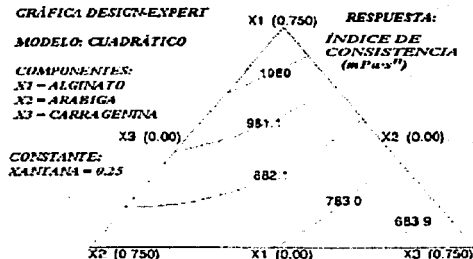
Viscosidad del jarabe hershey's a igualar = 376.78mPa\*s

La combinación que proporciona un valor similar =  $28.23 X1 + 37.68 X2 + 46.66 X3$

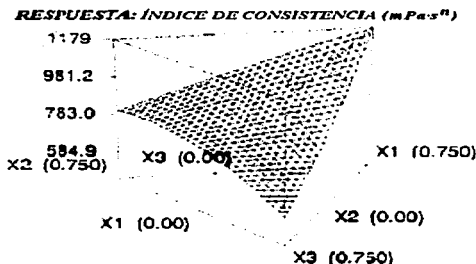
Ecuación general de predicción de viscosidad =  $524.8 X1 + 644.9 X2 + 754.1 X3 + 418.0 X1X2 + 523.7 X1X3 - 2482.5 X2X3$

En las figuras 48 y 49 se observa que el valor de la viscosidad aumenta proporcionalmente con el acesulfame k y el aspartame reiterando nuevamente que es la interacción de los edulcorantes con la concentración de maltodextrina que determina el parámetro de viscosidad. Por otro lado, se observa claramente que con el incremento en la proporción de sacarosa hay un incremento en la viscosidad. Y en la ecuación de predicción el edulcorante que representa un mayor efecto es nuevamente el aspartame, sin embargo, la interacción con acesulfame k tiene un efecto negativo en la viscosidad.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



**FIGURA 50:** Comportamiento de viscosidad en 2-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.



**FIGURA 51:** Comportamiento de viscosidad en 3-D de jarabes de chocolate con polisacáridos.

Índice de consistencia del jarabe Hershey's a igualar = 376.78 mPa·s

La combinación que proporciona un valor similar =:  $0.168 X_2 + 74.83 X_3 + 25 C$

Ecuación general de predicción del índice de consistencia =  $1180.4 X_1 + 604.2 X_2 + 597.2 X_3 + 1380.8 C + 201.1 X_1 X_2 - 150.5 X_1 X_3 - 212.5 X_1 C + 582.4 X_2 X_3 - 246.8 X_2 C - 1380.8 X_3 C$

Donde: C = Cte.Xantana

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En las figuras 50 y 51 se observa que el valor del índice de consistencia aumenta proporcionalmente con la concentración de alginato. Y en la ecuación de predicción el polisacárido que representa un mayor efecto en este parámetro es la Xantana. Por otro lado, algunas de las combinaciones tienen un efecto negativo en el índice de consistencia, la que muestra un mayor efecto es la combinación carragenina-xantana, arábica-xantana y alginato-arábica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ***CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES***

### **4.1. CONCLUSIONES**

En este trabajo el empleo del método estadístico, Diseño de Mezclas, permitió conocer la influencia de las modificaciones de agentes espesantes y edulcorantes en las características de calidad de un jarabe de chocolate con pocos experimentos, reduciendo el trabajo a 25 formulaciones. Asimismo, proporcionó ecuaciones de predicción que permitieron tener una idea aproximada de los resultados posibles al modificar cualquiera de los ingredientes estudiados.

De las pruebas efectuadas se puede decir que la interacción del edulcorante aspartame y la maltodextrina, esta última empleada como agente de volúmen, son quienes ejercen la mayor influencia en los parámetros relativos a la consistencia, además de presentar características deseables en el producto. Asimismo, en el caso de polisacáridos, podemos decir que éstos por sí solos no proporcionan una consistencia adecuada; únicamente en el caso de los usados con mezclas donde las interacciones son (alginato + carragenina), y (carragenina + xantana), ya que con éstas se obtiene un jarabe con las características similares al jarabe patrón.

Dicho lo anterior, los jarabes que presentaron un comportamiento de consistencia cercano al jarabe patrón y que pueden señalarse como formulaciones adecuadas, son:

#### **Texturómetro TA-XT2:**

- 44.87% acesulfame k + 53.55% aspartame.
- 32.46% alginato + 12.69% goma arábiga + 29.85% carragenina + 25% xantana.

#### **Consistómetro de Bostwick:**

- 66.5% acesulfame k + 33.01% aspartame.
- 22.8% alginato + 22.88% carragenina + 29.94% xantana + 25% goma arábiga.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En cuanto al parametro de viscosidad, nuevamente se apreció que los edulcorantes no tienen influencia notable sobre este parámetro, es el agente de volumen el que determina un valor alto de viscosidad. Asimismo, el jarabe preparado con los polisacáridos muestra un valor más alto de viscosidad que el jarabe patrón ya que la función de éstos es la de aumentar esta característica.

Las formulaciones adecuadas de ésta propiedad son las siguientes:

- \* 28.23% sacarosa + 37.68% acesulfamek + 46.66% aspartame.
- \* 0.168% goma arábiga + 74.83% carragenina + 25% xantana.

De las pruebas de consistencia realizadas a los jarabes de chocolate se obtuvieron formulaciones, las cuales no fueron tan representativas, debido a que son pruebas empíricas y éstas dependen del instrumento, las dimensiones y las condiciones de la muestra, lo que ocasiona que no sean reproducibles y generalmente aportan un solo dato. Además, de otro factor que es la temperatura no controlada.

Sin embargo, en la prueba de viscosidad los factores que afectan son controlados y los resultados no dependen del instrumento o de la muestra, por lo que las formulaciones obtenidas son representativas.

Por lo tanto, las formulaciones que definen la consistencia de los jarabes de chocolate estudiados fueron obtenidas al evaluarlos en el viscosímetro.

Con respecto a las pruebas de Adhesividad es en realidad el agente de volumen (maltodextrina) quien determina que no se pierdan las características adhesivas al eliminar la sacarosa de la formulación, pues sin importar el edulcorante empleado la respuesta depende únicamente de la concentración de maltodextrina. Mientras que en el caso de los polisacáridos, se tiene que la goma que proporciona un valor alto de adhesividad es el alginato mientras que la xantana presenta un valor bajo; en el caso de combinación de gomas, se apreció que todas las interacciones nos proporcionan una baja adhesividad, pero aún así se ve que la interacción entre (goma arábiga + xantana) proporcionan el valor más alto de adhesividad en comparación con las otras, alejándose del comportamiento basado para este producto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con lo antes mencionado, se presentan las formulaciones adecuadas para el parámetro de adhesividad:

- 13.58% sacarosa + 85.98 aspartame.
- 55.85 goma arábica + 0.16% carragenina + 18.99 xantana + 25% alginato.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ⇒ ARANCIA Corn Products, S. A. DE C. V. Enero, 2001. Boletín Técnico.
- ⇒ BADUI, D. S. (1999). "*Química de los Alimentos*". Pearson Educación, México.
- ⇒ BECKET, S. T. (1988). "*Fabricación y Utilización Industrial del Chocolate*". Acribia, Zaragoza, España
- ⇒ BOURNE, M. C. (1982). "*Food Texture and Viscosity*". Academic Press.
- ⇒ CASAS A., N. B. & RAMIREZ O., M. E. (1998). "*Manual de Evaluación de Materiales con máquina Universal de Deformación*". Agosto. UNAM.
- ⇒ COOK, L. R. (1972). "*Chocolate Production and Use*". Magazine for Industry. New York.
- ⇒ DE MAN, J. M. (1979). "*Reology and Texture in Food Quality*". The Avi Publishing Company, Inc.
- ⇒ DICCIONARIO DE LOS ALIMENTOS, (1984). 2ª Ed. Editia Mexicana, S.A. México – Barcelona.
- ⇒ FENNEMA, O. R. (1993). "*Química de los Alimentos*". Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- ⇒ GRUPO ALIMENTAE, S. A. DE C. V. Octubre 2000.
- ⇒ HARRIS, N. & PETERSON, M. S. (1991). "*A Formulary of candy products*". Chemical Publishing company, Inc. New York.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ⇒ HELDMAN, D. (1975). "*Food Process Engineering*". Chap 2. The AVI Pub, West. Conn.
- ⇒ HERMANSSON, A. M. (1989). "*Carbohidrate Polymers*". IRL Press. Oxford, England.
- ⇒ HOGHES, C. (1987). "*Guía de Aditivos*". Acribia S. A. México.
- ⇒ LINDEN, G. & LORIENT, D. (1994). "*Bioquímica agroindustrial*". Acribia. Zaragoza, España.
- ⇒ MONTGOMERY, D. C. (1991). "*Diseño y Análisis de experimentos*". Iberoamérica. México, D. F.
- ⇒ MULLER, H. G. (1977). "*Introducción a la Reología de los Alimentos*". Acribia. Zaragoza, España.
- ⇒ MULTON, J. L. (1988). "*Aditivos y Auxiliares de Fabricación en las Industrias Agroalimentarias*". Acribia S. A. Zaragoza, España.
- ⇒ NUTRIQUIM, S. A. DE C. V. Septiembre 1998. Boletín Técnico.
- ⇒ PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. & WEDLOCK, D. J. (1992). "*Gums and Stabilisers for the Food Industry 6*". IRL Press. Oxford, England.
- ⇒ PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. & WEDLOCK, D. J. (1984). "*Gums and Stabilisers for the Food Industry 2. Aplicaciones de hidrocoloides*". Tomo 1. Pergamon Press. Oxford, England.
- ⇒ POTTER, N. N. (1995). "*Ciencia de los Alimentos*". Acribia. Zaragoza, España.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- ⇒ POMERANZ, Y. (1985). "*Functional Properties of Food Components*". Academic Press, Inc.
- ⇒ PRENTICE, J. H. (1984). "*Measurements in the Rheology of Foodstuffs*". Elsevier Applied Science Publishers LTD.
- ⇒ RANKEN. (1988). "*Manual de Industrias de los Alimentos*". Segunda edición. Acribia. Zaragoza, España.
- ⇒ SHERMAN, P. (1969). "*A Texture Profile of Foodstuffs upon well-defined Rheological Properties*". J. Food Sci.
- ⇒ STEFFE, J. F. (1992). "*Rheological Methods in Food Process Engineering*". Freeman Press. USA.
- ⇒ STREETER, V. L. (1975). "*Fluid Mechanics*". Sexta edición. Mc Graw Hill. New York.
- ⇒ TANNER, R. I. (1985). "*Rheology*". Oxford Science Publications. New York.
- ⇒ TANNER, R. I. (2000). "*Engineering Rheology*". Oxford Science Publications. New York.
- ⇒ TEXTURE TECHNOLOGIES. (2002). "*The Texture Report. A Newsletter for the Academic Commercial Clients of Texture Technology Corp*".
- ⇒ TOWLE, G. A. (1990). "*Industrial Gums*". IRL Press. Oxford, England.
- ⇒ ULRICH, G. (1994). "*Aditivos e Ingredientes*". Acribia. Zaragoza, España.
- ⇒ WOHL, M. H. (1968). "*Designing for Non-Newtonian Fluids*". Chem. Eng. 75 (2). Pp. 636-640.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

⇒ WONG, D. W. S. (1995). "*Química de los Alimentos: Mecanismos y Teoría*". Acribia. Zaragoza, España.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO

### ANEXO 1: Macro de Consistencia.

|                     |      |
|---------------------|------|
| PROGRAM             |      |
| Redraw              |      |
| Go To Min. Time     |      |
| Drop Anchor         | 1    |
| Peak Force +        |      |
| Mark Force          |      |
| Drop Anchor         | 2    |
| Area                |      |
| Travel              |      |
| Gradient            |      |
| Go To Force         | 0.0g |
| Drop Anchor         | 3    |
| Area                |      |
| Set Force Threshold | 1.0g |
| Peak Force -        |      |
| Go To Force         | 0.0g |
| Drop Anchor         | 4    |
| Area                |      |
| Set Force Threshold | 2.0g |
| Peak Force +        |      |
| Drop Anchor         | 5    |
| Search Backwards    |      |
| Go To Force         | 0.0g |
| Drop Anchor         | 6    |
| Gradient            |      |
| Search Fowards      |      |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



|               |      |
|---------------|------|
| Peak Force +  | 0.0g |
| Go To Force   | 7    |
| Drop Anchor   |      |
| Area          |      |
| Peak Force -  | 0.0g |
| Go To Force   | 8    |
| Drop Anchor   |      |
| Area          | 5    |
| Select Anchor | 6    |
| Select Anchor |      |
| Travel        | 3    |
| Select Anchor | 4    |
| Select Anchor |      |
| Travel        | 1    |
| Select Anchor | 3    |
| Select Anchor |      |
| Area          |      |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO 2: Macro de Adhesividad**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| <b>PROGRAM</b>               |        |
| <b>Clear Graph Results</b>   | 100.0% |
| <b>% of Max +ve Force</b>    |        |
| <b>Mark Force</b>            |        |
| <b>% of Max +ve Distance</b> | 100.0% |
| <b>Mark Distance</b>         |        |
| <b>Drop Anchor</b>           | 1      |
| <b>Max -ve Distance</b>      | 100.0% |
| <b>Drop Anchor</b>           | 2      |
| <b>Travel</b>                |        |
| <b>Area</b>                  |        |