



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

***“EFECTO DE LAS CONDICIONES DE COCCIÓN  
SOBRE LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE PASTA  
ALMACENADA EN REFRIGERACIÓN”***

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**PÉREZ PACZKA RAQUEL BEUYANII**

ASESOR:

**DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2013.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

**Efecto de las condiciones de cocción sobre las propiedades texturales de pasta almacenada en refrigeración**

Que presenta la pasante: Raquel Beuyanii Pérez Paczka

Con número de cuenta: 402089201 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 ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de septiembre de 2013.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	<u>Dra. Carolina Moreno Ramos</u>	
<b>VOCAL</b>	<u>Dra. Elsa Gutiérrez Cortez</u>	
<b>SECRETARIO</b>	<u>Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza</u>	
<b>1er. SUPLENTE</b>	<u>IA. Patricia Muñoz Aguilar</u>	
<b>2do. SUPLENTE</b>	<u>Dr. Omar Reyes Martínez</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## ***DEDICATORIA***

*Este trabajo está dedicado a la memoria de mi abuelito **Sergio Augusto Paczka del Castillo**, quien me transmitió desde muy pequeña sus conocimientos y consejos, así como su paciencia en enseñarme su materia favorita; las matemáticas y desde ese momento me ayudo a superar muchísimos obstáculos en el camino. Siempre me brindo un amor muy especial, enseñándome también el amor a la vida y saberla disfrutar con alegría, siempre te llevo presente en mi corazón y sé que este logro te lo debo mucho a ti.*

*Dedicado también a mis padres **David Pérez** y **Miriam Paczka** que gracias a su gran esfuerzo y apoyo he concluido esta etapa maravillosa.*

*A mis hermanas **Vianey** y **Alejandra**.*

*Y de igual manera con mucho cariño y amor a **Victor Hugo Zanabria**.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco de todo corazón a mis padres David Pérez Guerrero y Miriam R. Paczka Hernández quienes supieron guiarme y apoyarme moral y económicamente durante todo este tiempo, así como enseñarme y demostrarme que todo lo que uno quiere se puede alcanzar con esfuerzo y dedicación. Les agradezco y los admiro por haberme dado la oportunidad de trabajar con ustedes en una empresa propia y por superar todos los obstáculos con los que nos enfrentamos y seguir adelante, por todo ello he logrado culminar esta etapa profesional. ¡Mil gracias, los quiero mucho!*

*A mis hermanas Vianey y Alejandra por todo el apoyo, cariño y animo que me han brindado durante todo este tiempo tanto en los buenos y malos momentos, espero este trabajo sea un gran aliciente en su camino. ¡Las quiero mucho!*

*Agradezco también a Victor Hugo Zanabria Hernández por cruzarte en mi camino y ser parte de mi vida, por ser un gran ejemplo y motivación para superarme día con día, por confiar en mí e impulsarme incansablemente a la terminación de este y trabajo, por su gran apoyo tanto moral como económico, por sus regaños y por todo el amor que me ha brindado, por consentirme tanto y hacer mis días extraordinarios.. ¡Muchas gracias, te amo!*

*Agradezco a Carmen Hernández, Yoselyn Zanabria y Monica Zanabria por el cariño y apoyo que me han brindado en esta etapa y por adoptarme en su familia, de la cual he aprendido muchas cosas buenas. ¡Gracias!*

*También agradezco a la Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza, mi asesora de tesis, por confiar en mí, por su gran paciencia, tiempo y apoyo en la realización de esta tesis, muchas gracias.*

*A mis sinodales, gracias por su tiempo y dedicación en la revisión y opiniones de este trabajo.*

*También agradezco a todos mis tíos, tías y primos por todo su apoyo y ánimo a seguir adelante, en especial a mi tía Lucha por brindarnos apoyo a mí y a mi familia cuando lo necesitamos y a mi tía Perita por todos sus consejos y motivación para seguir adelante.*

*A mis amigas Yessica y Lupita por estar conmigo siempre que las he necesitado y brindarme todo su cariño y comprensión en las buenas y en las malas, siguen siendo parte esencial en mi vida, gracias.*

*A todas mis compañeras y amigas de la carrera, gracias por compartir conmigo sus conocimientos y amistad sincera, así como muchos momentos agradables, especialmente a Yendi quien me brindo su amistad desde el primer día de mi estancia en la UNAM, a Luz por ser una amiga muy especial y motivarme a seguir superándome, a Gloria por todos sus consejos y por escucharme, a Jessy, Rosa, Evelyn, Janeth, Karen y Susana por su valiosa amistad y apoyo, gracias.*

*A mi amiga Ingrid Annalet por todo su apoyo tanto en lo laboral como en lo personal a lo largo de estos 7 años, gracias. Y a ti también Bety por brindarme una especial amistad y ser un ejemplo de lucha incansable y gran amor a la vida, gracias.*

*Finalmente agradezco a la UNAM y a todas las personas involucradas para la realización de este trabajo.*

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
1.1. Pastas Alimenticias.....	5
1.1.1. Tipos de pastas .....	7
1.1.2. Clasificación de las pastas.....	10
1.1.3. Información nutrimental de las pastas .....	13
1.1.4. Producción y consumo de pastas en el mundo .....	15
1.1.5. Proceso de elaboración de pastas.....	17
1.1.6. Factores que influyen en la calidad de las pastas.....	23
1.1.7. Cocción y Almacenamiento .....	28
1.2. Textura y propiedades mecánicas de las pastas .....	33
1.2.1. Métodos de evaluación de las propiedades texturales .....	38
1.2.2. Criterios para la selección de ensayos:.....	42
1.2.3. Maquinas universales de ensayos .....	46

1.2.4.	Principales ensayos mecánicos en análisis de textura .....	49
1.2.5.	Desventajas de los ensayos de compresión - extrusión.....	52
1.3.	Diseño Taguchi .....	56
<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>60</b>
2.1.	Objetivos.....	60
2.2.	Material Biológico .....	60
2.3.	Cocción de la pasta .....	61
2.4.	Estandarización del método de ensayo .....	62
2.5.	Diseño Experimental Taguchi.....	64
2.6.	Análisis estadístico .....	67
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>68</b>
3.1.	Resultados en la estandarización del método de ensayo .....	68
3.2.	Resultados del diseño Taguchi .....	79
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas.
Figura 1: Pastas Alimenticias.....	5
Figura 2: Pastas tipo oriental, 2a) soba, 2b) soma y 2c) udon.....	8
Figura 3: Pastas oriental de , 3a) arroz, 3b) cristal y 3c) ñoquis.....	8
Figura 4: Proceso de elaboración de pasta cantonesa.....	9
Figura 5: Pasta amarilla o simple. ....	10
Figura 6: Pasta con vegetales o especias. ....	11
Figura 7: Pastas rellenas, 7a) ravioles cuadrados, 7b) ravioles media luna y 7c) tortellines. ....	12
Figura 8: Esquema de una línea continúa para la producción de pasta alimenticia. ....	17
Figura 9: Diagrama de bloques para la producción de pastas alimenticias. ....	18
Figura 10: Mezclador de paletas. ....	19
Figura 11: a) Extrusor para pastas, b) torillo, c) molde y corte. ....	20
Figura 12: Obtención de pasta por laminado (a) Laminadora, (b) Tallarines laminados. ....	21
Figura 13: Diagrama de un deshidratador de pastas estático de charolas. ....	22
Figura 14: Harina, sémola y semolina de trigo.....	24
Figura 15: Etapas de la cocción de la pasta.....	28
Figura 16: Clasificación de las características de textura. ....	34
Figura 17: Máquina universal Instron.....	46
Figura 18: Gráfica general de análisis de perfil de textura.....	48
Figura 19: Diagrama de fuerza-deformaciones en un ensayo de extrusión. ....	51
Figura 20: Celda Kramer adaptada a la máquina universal. ....	55
Figura 21: Diseño Taguchi $L_{16} 2^6$ .....	65
Figura 22: Gráfica de Pareto en función a la firmeza. ....	70

Figura 23: Gráficos de cubos para firmeza en función al tipo de dispositivo. ....	71
Figura 24: Gráficos de Pareto para la energía de ruptura.....	72
Figura 25: Distribución de energía de ruptura en función al dispositivo utilizado. .....	73
Figura 26: Diagrama de Pareto para módulo de Young.....	73
Figura 27: Relación al tipo de dispositivo empleado sobre el módulo de Young.	74
Figura 28: Interacción de las variables con respecto a la firmeza.....	75
Figura 29: Interacción de las variables para la energía de ruptura.....	76
Figura 30: Interacción de las variables respecto al módulo de Young.....	77
Figura 31: Optimización en función a las tres variables de respuesta seleccionadas.....	78
Figura 32: Efecto de las variables sobre la firmeza. ....	80
Figura 33: Firmeza respecto a las variables de mayor influencia.....	81
Figura 34: Contribución de variables sobre la energía en el área de borde.....	85
Figura 35: Variación en la respuesta por efecto de los factores de mayor importancia. ....	86
Figura 36: Interacción de las variables sobre energía de ruptura.....	87
Figura 37: Efecto de las variables sobre la energía de ruptura.....	88
Figura 38: Efecto de las variables en el módulo de Young.....	90
Figura 39: Efecto de las variables sobre la energía al módulo. ....	91
Figura 40: Efecto de las variables sobre la energía en el módulo.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas.
Tabla 1: Información nutrimental de las pastas.....	14
Tabla 2: Consumo mundial de pasta 2011 .....	16
Tabla 3: Producción de pats mundial 2011 .....	16
Tabla 4: Definición de atributos de textura mecánicos, desde el punto de vista físico y sensorial.....	36
Tabla 5: Variables y niveles de variación a utilizar para la estandarización del método de ensayo.....	62
Tabla 6: Corridas a realizar para la estandarización del método.....	63
Tabla 7: Variables y niveles de variación utilizados para la evaluación de propiedades mecánicas.....	64
Tabla 8: Corridas realizadas para la evaluación de las propiedades mecánicas conforme al diseño experimental ortogonal Taguchi $L_{16} 2^6$ con seis variables a dos niveles de variación. ....	66
Tabla 9: Análisis de Varianza ( $\alpha=0.05$ ) en variables de respuesta .....	68

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de la textura (propiedades mecánicas) de pasta extruida (fussilli) y laminada (tallarín), sometida a diferentes condiciones de cocción y almacenamiento, las determinaciones en propiedades mecánicas se realizaron en una máquina universal Instron<sup>®</sup>. En primera instancia se llevó a cabo la estandarización del método de ensayo a utilizar, mediante un diseño experimental factorial  $2^4$  aleatorizado, obteniendo de este las siguientes condiciones: velocidad de 300 mm/min, peso de muestra de 15 g, y como dispositivo de ensayo la celda Kramer. Posteriormente se llevo a cabo la evaluación de las propiedades mecánicas de las pasta variando el tiempo de cocción, la adición de sal y aceite al agua de cocción, el uso o no de un tratamiento de enjuague con agua después de la cocción, al igual que el tiempo de refrigeración de la pasta ya cocida, la determinación del efecto de los factores antes mencionados se analizó con un diseño Taguchi  $L_{16} 2^6$  evaluando el efecto de cada una de las variables sobre las propiedades mecánicas de firmeza, módulo de Young y energía en el área de borde de las pastas, con el fin de establecer las características de cocción y almacenamiento que mantuvieran mejor la textura respecto a la inicial.

Analizando los resultados con ayuda del programa MINITAB 14<sup>®</sup> se obtuvo que las condiciones de cocción que mantienen mejor la textura de estas pastas respecto a la inicial, fue un tiempo de cocción de 6 minutos en agua con adición de sal de 10g/L, un almacenamiento en refrigeración máximo de 24 h, y que el tratamiento de enjuague con agua después de su cocción disminuye la firmeza y la energía en el área de borde de las pastas.

Palabras clave: *Almacenamiento refrigerado, cocción, pasta, propiedades mecánicas.*

## INTRODUCCIÓN

La pasta es uno de los alimentos más populares alrededor del mundo, debido principalmente a su fácil preparación. En la Industria de alimentos, el término pasta es definido como un producto obtenido por extrusión o laminado a baja temperatura de una masa elaborada con sémola, otros ingredientes y agua (aproximadamente 31.5 %) y puede tener diversas formas y tamaños (Majzoobi y col., 2011). Desde el punto de vista nutricional la pasta es un alimento bajo en grasa y sal, rico en carbohidratos complejos que producen una baja respuesta a la glucosa e inulina en sangre después de comerla. La pasta es conocida principalmente como una fuente de energía por su alto contenido en carbohidratos (Cleary y Breennan, 2006, Alireza y Bhagya., 2008).

La calidad de la pasta es muy importante puesto que el consumidor incluye entre sus características, la firmeza, espesor, tolerancia a la cocción, así como absorción de agua y grado de gelatinización, por lo que su calidad además de verse afectada por las condiciones de elaboración y secado se ve modificada también por las condiciones de cocción (Zhang y col., 2012). El ritmo de vida actual ha cambiado las necesidades de los consumidores de tal manera que los alimentos listos para consumir ocupan hoy en día grandes espacios en las tiendas de autoservicio. La pasta lista para consumo es un producto relativamente simple, consiste principalmente de almidón gelatinizado y agua (aproximadamente 60 %). La calidad de pasta lista para su consumo cambia durante el almacenamiento especialmente debido a modificaciones texturales (Borneo y Aguirre, 2008; Carini y col., 2013). Razón por la que en un estudio de pasta cocida es necesario llevar a cabo la evaluación de los cambios de textura, generalmente se utilizan ensayos instrumentales de compresión, adhesión, tensión, corte, entre otros. El empleo de la Máquina Universal Instron fue uno de los equipos tomados como referencia

para evaluar la firmeza de pasta, siendo este método aprobado por la Asociación Americana de Química Clínica (AACC por sus siglas en inglés) (Sissons y col., 2008a; Sissons y col., 2008b). En la técnica de ensayo por cizalla en celda Kramer por lo general se mide la “fuerza máxima de cizallamiento” pero se conoce que se produce una combinación de compresión, extrusión y cizallamiento (Szczesniak y col., 1970; Raina y col., 2005) y ha ofrecido la gran ventaja de poder evaluar la textura de los productos alimenticios en su conjunto a pesar de que este puede presentarse en diversas formas y tamaños. Un estudio sobre la influencia del tiempo de almacenamiento en el endurecimiento de frijoles negros que se importan en Cuba ha indicado que los resultados obtenidos utilizando la celda Kramer son capaces de diferenciar entre distintos tratamientos para producir un ablandamiento de aquellos frijoles con más de 6 meses de almacenamiento además de mostrar los cambios en textura con el tiempo durante el almacenamiento en diferentes condiciones (Méndez y de Hombre, 1994). Otros estudios han reportado la evaluación de firmeza mediante el empleo de una celda Warner-Bratzler (Gallegos-Infante y col., 2010).

Por estas razones existe la inquietud de establecer en primera instancia una metodología de ensayo con la máquina universal Instron que sea factible para la industria de las pequeñas y medianas empresas elaboradoras de pasta, que permita ser confiable, fácil y reproducible, para así, a partir de este poder evaluar cualquier cambio en las propiedades mecánicas de las pastas, ya sea en formulación, proceso de elaboración, almacenamiento y empaquetado de estas después de su cocción, ya que los principales trabajos de investigación respecto a las pastas se basan en el aumento de sus propiedades nutricionales y el análisis de textura en la mayoría de los casos se realiza por medio de la aceptación sensorial con paneles de jueces.

Y posteriormente evaluar el efecto de las condiciones de cocción y almacenamiento sobre las propiedades texturales de pasta almacenada en refrigeración, ya que comúnmente la pasta se almacena seca y esta se prepara minutos antes de su consumo debido a que cambia de características texturales con el tiempo y va perdiendo su calidad, como su firmeza, el espesor, la pegajosidad, lo cual es aún más problemático en su preparación a gran escala, como en los restaurantes o cocinas industriales. El recalentamiento de la pasta tras su refrigeración provoca la pérdida de hidratos de carbono y, por tanto, parte de la energía que aporta al organismo, como norma general, debe atenderse el tiempo transcurrido entre la preparación y el consumo de la pasta. En algunos países, como Italia, la pasta se consume prácticamente después de su preparación, pero en otros, como el nuestro, es frecuente esperar un tiempo que puede oscilar entre unas decenas de minutos hasta varias horas (Saltos, 2011).

Por tal motivo este trabajo está enfocado en evaluar el efecto de las condiciones de cocción y almacenamiento en refrigeración de pasta laminada (tallarín) y extruida (fussilli) sobre sus propiedades mecánicas de firmeza, módulo de Young y energía en el área de borde, para establecer aquellas condiciones que mantengan mejor su textura respecto a la inicial.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Pastas Alimenticias

En general se utiliza el nombre genérico “pastas alimenticias” para designar a un variado grupo de alimentos como: spaghetti, macarrones, fideos orientales, nodles, ñoquis, sopas de letra, munición, etc. (Figura 1).

Las pastas alimenticias son los productos obtenidos por la mezcla de una masa no fermentada, confeccionada por la mezcla de agua potable con harina o sémola de trigo duro (*Triticum durum*) o cualquier otro cereal o la combinación de estos y con o sin uno o más de los ingredientes opcionales, sometidos a un proceso de laminación y/o extrusión y a una posterior deshidratación. (Anónimo 1995; Saltos, 2011).



Figura 1: Pastas alimenticias. Fuente: Gastronomía Vegana, *La pasta: tipos, salsas, métodos de cocción y consejos para disfrutarla*, 2012.

El *Triticum durum* o trigo de fideos: es un trigo no apto para panificación debido a su baja extensibilidad y la alta tenacidad de la masa que forma, por tanto es ideal para harina formadora de pastas (Feldman y col., 2001)

Son muchas las teorías que se han elaborado en torno al origen de la pasta. Algunos investigadores adjudican el descubrimiento a Marco Polo en el siglo XIII, el cual la introdujo en Italia de vuelta de uno de sus viajes a China, en 1271. En el capítulo CLXXI de “Libros de Maravillas del mundo”, Marco Polo hace referencia sobre la pasta en China. Para otros se remonta mucho más allá, a antiguas civilizaciones etruscas, que la elaboraban mediante el machaque o trituración de diversos cereales y granos mezclados con agua, que luego la cocían, resultando un alimento sabroso y nutritivo.

En 1878, se inventó el Purificador Marsellais, nombre de su propio autor, el cual estaba destinado a mejorar la sémola, y por ende la pasta. Inicialmente se aderezaba con una salsa de tomate y aceite, para luego ser enriquecida por la creatividad de las amas de casa, los chefs y los gourmets, quienes comenzaron a mezclarla con productos típicos italianos como la mozzarella, el parmesano, el jamón, y la carne de cerdo curada, además de otros quesos, carnes y pescados.

Durante este siglo la pasta se consolidó como un ingrediente fundamental de la cocina italiana. Para 1914, el secado artificial, hacía que la pasta estuviera a disposición de todas las regiones de Italia. El gran desarrollo de la pasta italiana en el cambio de siglo, estuvo muy ligado a la exportación, la cual alcanzó un alto récord de 70,000 toneladas, muchas de las cuales fueron dirigidas hacia los Estados Unidos. Más tarde, países importadores comenzaron a producir máquinas para fabricar sus propias pastas, y estas lograron conquistar el mundo. A partir de ahí, la gente comienza a referirse a este fenómeno como “La Industria de la Pasta” (Historia de la pasta, I.P.O (s.f). Fecha de consulta 11-09-12.)

### 1.1.1. Tipos de pastas

La fabricación industrial de pasta alimenticia a nivel mundial a ha tenido como consecuencia una gran variedad de formas y tipos que actualmente se conocen, existen algunas formas de fideos orientales y pastas que tienen una apariencia similar, pero se distinguen por las diferencias en el proceso de fabricación y materias primas utilizadas (Rizzi y Lee, 2001).

Las pastas tipo italiano dominan el mercado de este tipo de productos, aunque la popularidad de los fideos orientales se han incrementado recientemente. Las pastas elaboradas a partir de sémola se consumen principalmente en Europa y América, mientras que las pastas orientales elaboradas a partir de harina de trigo y otros cereales, con adición de té verde o espinacas para darles sabor por ejemplo, son consumidas en Asia. Los fideos orientales, también denominados chinos o japoneses, han formado parte de la dieta típica de esos países por más de 1000 años.

Algunas de las principales pastas orientales se describen a continuación:

- 2a) Pasta *soba* se muestra en la figura 2a, se elabora principalmente con harina de alforfón y se añade un poco de harina blanca de trigo para mejorar su cocción, esta pasta es color gris claro y con un sabor inconfundible.
- 2b) Pasta *soma* del Japón es fabricada con harina de trigo duro estirando la masa en hilos largos de un grosor aproximado de 1mm, después de su secado los hilos se trocean y la pasta tiene un brillo intenso de aspecto nacarado, que se pierde con su cocción (Figura 2b).

2c) Pasta *udon*, mostrada en la figura 2c, puede tener un grosor de hasta 0.5 cm y ser redonda, cuadrada o plana, son largas como los tallarines y se comercializa seca, semiseca o fresca (Rizzi y Lee, 2001).

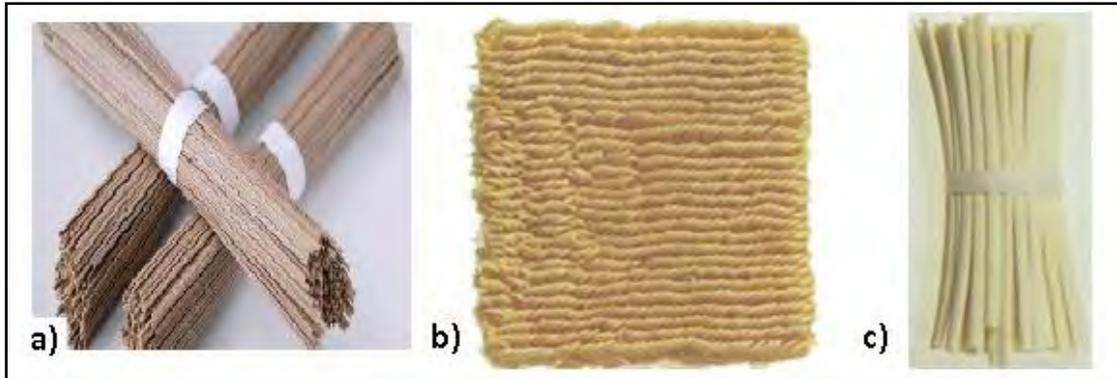


Figura 2: Pastas tipo oriental, 2a) soba, 2b) soma y 2c) udon. Adaptada de: Fuchs L., 2012, *directo al paladar, los fideos soba*; Rizzi y Lee 2001.

3a) Pasta de *arroz* de aspecto blanco lechoso se muestra en la figura 3a, tiene una producción semi-industrializada y la mayor parte se vende fresca directamente al consumidor o a pequeños comerciantes. Los principales ingredientes son harina de arroz y agua, algunas veces se añade algún otro ingrediente como tapioca o almidón de maíz.

3b) Pasta de *crystal* de procedencia japonesa se elabora con diferentes almidones o mezclas, por ejemplo el almidón de camote, papa, raíz de sagita o harina de alubia mungo, su producción también es semi-industrializada (Figura 3b).

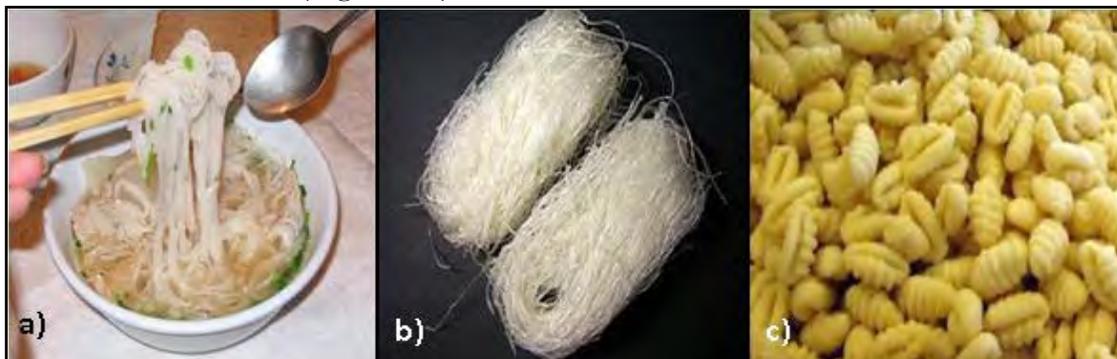


Figura 3: Pasta tipo oriental de; 3a) arroz, 3b) crystal y 3c) ñoquis. Adaptada de: Taringa, (s.f.) *como hacer ñoquis*, 2012; Wikipedia, *fideo de arroz*, 2013.

3c) Los *ñoquis* son considerados también dentro de las pastas ya que en sus primeros siglos de elaboración sólo se hacían con harina de trigo y agua en forma redondeada, alargada, actualmente se utiliza papa cocida, almidón de papa, sémola de maíz o trigo y pueden ser moldeados de forma ovalada o redonda. Su venta generalmente es fresca (Figura 3c).

Otro tipo de pasta china se representa en la figura 4, es la llamada pasta *cantonesa*, se compone de harina de trigo, agua y sal, sin embargo para su elaboración se necesita mucha destreza y tacto para trabajar la masa ya que se elabora de forma artesanal a mano, la masa se estira como una soga en una mesa de trabajo, se dobla sobre sí misma, se estira y repite sucesivamente, girando al mismo tiempo en el aire hasta formar las primeras hebras y con ayuda de harina seca, se sigue trabajando separándose y haciéndose cada vez más fina. Tan fina es esta pasta que hasta podría pasar por el ojo de una aguja (Rizzi y Lee, 2001)



Figura 4: Proceso de elaboración de pasta Cantonesa. Adaptada de Rizzi y Lee, 2001.

### 1.1.2. Clasificación de las pastas

Las pastas tipo europeas o italianas, son las más comunes que encontramos en los supermercados latinos y como se mencionó anteriormente serán estas sobre las que versará el presente trabajo. Conforme a la norma mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002 se entiende por pasta alimenticia “al producto obtenido por el amasado mecánico de sémola, semolina o harinas, cualquiera de estas procedente en su totalidad de trigos duros con agua y otros ingredientes opcionales permitidos, moldeado, laminado o extruido y sometido o no a un proceso térmico de deshidratación”.

Las pastas alimenticias se pueden clasificar con base en su composición, a su forma y a su contenido de humedad.

#### Por su composición

- **TIPO I.** Pasta amarilla o blanca de harina de trigo y/o semolina para sopa, representada en la figura 5, se entiende por este producto al elaborado por la deshidratación de las figuras obtenidas del amasado de semolina y/o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales y aditivos permitidos.



*Figura 5: Pasta amarilla o simple. Fuente: Ortega A., 2008, la nota latina, ¿Y a quien no le gusta la pasta?*

- **TIPO II.** Pasta de harina de trigo y/o semolina con huevo y/o ingredientes adicionales para sopa. Se entiende por este producto al que cumple con lo señalado para el tipo I, además en su composición, debe tener no menos de 4.2% de sólidos de huevo entero o yema de huevo, o bien, 16.8% de huevo entero líquido o yema de huevo líquida y los aditivos permitidos, exceptuando los colores artificiales y naturales.
  
- **TIPO III.** Pasta de harina de trigo y/o semolina con vegetales o especies (indicando cuales) para sopa. Se entiende por este producto al que cumple con el señalado en el tipo I, además contiene vegetales como: zanahorias, tomate, espinacas o betabel; en una cantidad no menor del 3% del vegetal deshidratado en el producto terminado, ingredientes opcionales y aditivos permitidos, exceptuando colorantes artificiales (Figura 6) (Milatovic y Mondelli, 1991; Norma Mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002)



*Figura 6: Pasta con vegetales o especies. Fuente: Mía maría restaurante, fusilli 2012.*

- **TIPO VI.** Las pastas de harina de trigo y/o semolina con relleno, en la figura 7 se muestran las pastas de este tipo. Se entiende por este producto al que cumple con cualquiera de los tipos anteriores adicionando a estas algún tipo de relleno como lo puede ser cualquier tipo de carne, verduras, queso o mezclas que pueden estar condimentadas, generalmente se manejan frescas

refrigeradas o congeladas, como por ejemplo los ravioles (cuadrados o de media luna) y los tortellines (Anonimo, 1995; Kill y Turnbull, 2004).



*Figura 7: Pastas rellenas, 7a) ravioles cuadrados, 7b) ravioles media luna y 7c) tortellines. Adaptada de Kedin, Fotos de Curso monográfico de pasta fresca a la italiana(s.f.); Garrubbo guide, about Tortellini, 2010 y Romanas kitchen, pasta, ravioles, 2013.*

### **Por su forma**

- a) Pasta alimenticia larga: se hace referencia al tipo de pasta que tiene una longitud entre 20-50 cm. Este tipo de pasta puede además ser tubular, compacta o aplastada. Los tipos de pasta que componen esta clasificación son por ejemplo, el spaghetti, tallarín, vermicelli, macarrones de esta longitud. Además, cada uno de estos tipos puede presentarse en formas rectas o enrolladas.
  
- b) Pasta alimenticia corta: La pasta alimenticia corta se refiere al tipo de pasta que tiene una longitud entre 20-40 m. El grupo que compone este tipo de pastas, puede presentar superficies lisas o arrugadas. Los tipos de pasta que se incluyen en este grupo son por ejemplo, los codos, las conchitas, caracoles, corbatillas y tornillos.

- c) Pastas enroscadas o nidos: Son las pastas alimenticias o fideos largos que tienen forma de rosca, nido, madeja o espiral (Saltos, 2011).
- d) Especialidades: en esta categoría se encuentran diversas clases de pastas, como por ejemplo la lasagna, canelones, tortellini y también las pastas de colores, las cuales llevan verduras como espinacas o tomate (Sedano, 1998).

### **Por su contenido de humedad**

- a) Pastas alimenticias o fideos frescos: Son las pastas alimenticias que presentan aspecto homogéneo y caracteres organolépticos normales, con una humedad máxima del 28%.
- b) Pastas alimenticias o fideos secos: Son las pastas alimenticias sometidas a un adecuado proceso de desecación. Deben presentar un aspecto homogéneo, caracteres organolépticos normales y tener una humedad máxima del 14% (Saltos, 2011).

### **1.1.3. Información nutrimental de las pastas**

Las proporciones de los nutrientes de la pasta pueden variar según el tipo y la cantidad del alimento, además de otros factores que puedan intervenir en la modificación de sus nutrientes, como los ingredientes adicionales en su preparación. La pasta es un alimento rico en carbohidratos ya que 100 g. de este alimento contienen 70.90 g. de carbohidratos. Desde un punto de vista nutricional la pasta de sémola de trigo es reconocida como una fuente de carbohidratos complejos, con poca grasa y de baja calidad proteica, debido a que la sémola, su principal constituyente, es pobre en lisina. En la tabla 1 se muestra el resumen de los principales nutrientes de las pastas (Antognelli, 1980).

La pasta es un alimento sin colesterol y por lo tanto, su consumo ayuda a mantener bajo el colesterol, lo cual es beneficioso para nuestro sistema circulatorio y nuestro corazón, también se encuentra entre los alimentos bajos en purinas ya que este alimento no contiene y por esto es un alimento que pueden tomar sin problemas aquellas personas que tengan un nivel alto de ácido úrico. Por este motivo, consumir alimentos bajos en purinas como la pasta, ayuda a evitar ataques en pacientes de gota.

*Tabla 1: Información nutrimental de las pastas.*

<b>Pasta Seca cada 100 g.</b>	<b>Cantidad</b>
Calorías	359 Kcal.
Grasa	1,58 g.
Colesterol	0 mg.
Sodio	7 mg.
Carbohidratos	70,90 g.
Fibra	5 g.
Azúcares	2,60 g.
Proteínas	12,78 g.
Vitamina A	0 ug.
Vitamina B12	0 mg.
Vitamina C	0 ug.
Vitamina B3	4,40 mg.
Calcio	24 mg.
Hierro	1,80 mg.

Adaptada de: Los alimentos, nutrientes de la pasta (f.c.), 2013.

La pasta ayuda a bajar el índice glicémico de una comida, un gran beneficio nutricional. Los científicos demuestran que cuando la pasta se combina con otros alimentos como por ejemplo, el queso, chile con carne, judías o atún, estos ingredientes añadidos pueden bajar el índice glicémico de una comida a base de pasta (Los alimentos, nutrientes de la pasta, f.c., 2013).

Entre el 60 y el 70 % está constituido por hidratos de carbono de absorción lenta (almidón), el 12-13% son proteínas (gluten), y el aporte de grasas es casi nulo. Este bajo aporte graso hace de la pasta un alimento altamente recomendado en estos tiempos, donde el aporte de grasas de la dieta debe reducirse. El aporte de vitaminas y minerales es relativamente bajo, excepto que estas hayan sido enriquecidas. Esto se debe a que en la elaboración se utiliza el endospermo (parte intermedia de los granos rico en gluten y almidón), quedando los minerales en las capas externas del grano.

Aporta también algo de fibra vegetal, lo cual genera esa sensación de saciedad, tan necesaria a la hora de sentirnos satisfechos con la comida. Si consumimos la versión integral el contenido de fibra será mayor (Licata M., las pastas, 2013).

#### **1.1.4. Producción y consumo de pastas en el mundo**

A nivel mundial, el principal país consumidor de pastas es Italia, seguido de Venezuela y Túnez. En la tabla 2 se muestra el consumo mundial de pastas alimenticias, donde se observa que el consumo per cápita de pastas en México es de 2.7 kilos, y se consume en un 30% como plato fuerte y el 70% como complemento (Muñoz G., 2012), observando que existe una gran diferencia con el primer lugar que consume 26 kilos por persona.

En la tabla 3 se muestra la producción de pasta a nivel mundial, México se encuentra en el décimo lugar con una producción de 330,000 toneladas de producto.

Tabla 2: Consumo mundial de pasta 2011

Consumo de Pastas Alimenticias en el Mundo 2011 (kg. per cápita)											
No.	País	Kg.	No.	País	Kg.	No.	País	Kg.	No.	País	Kg.
1	Italy	26.0	14	Russia	7.8	27	Spain	5.0	40	Finland	3.2
2	Venezuela	12.3	15	Hungary	7.5	28	R. Slovak	5.0	41	Colombia	3.0
3	Tunisia	11.9	16	Uruguay	7.5	29	Bolivia	4.8	<b>42</b>	<b>México</b>	<b>2.7</b>
4	Greece	10.5	17	Croazia	7.3	30	Netherlands	4.4	43	Romania	2.7
5	Switzerland	9.3	18	Austria	7.0	31	Lituania	4.4	44	Kingdom	2.5
6	Sweden	9.0	19	Slovenia	6.7	32	Poland	4.4	45	Guatemala	2.0
7	E.U.	8.8	20	Portugal	6.6	33	Latvia	4.1	46	Denmark	2.0
8	Iran	8.5	21	Canadá	6.5	34	R.Dominican	4.0	47	Libya	2.0
9	Chile	8.4	22	Brasil	6.2	35	Australia	4.0	48	Japón	1.7
10	Perú	8.2	23	Turkey	6.1	36	Israel	4.0	49	Egipto	1.2
11	France	8.1	24	R. Czech	6.0	37	Ecuador	3.9	50	Ireland	1.0
12	Germania	8.1	25	Belgium	5.4	38	Panamá	3.8	51	El Salvador	1.0
13	Argentina	7.9	26	Estonia	5.3	39	Costa Rica	3.2			

Tabla 3: Producción de pasta mundial 2011

Producción de Pastas Alimenticias en el mundo 2011 (toneladas)					
País	Toneladas	País	Toneladas	País	Toneladas
Italia	3,316,728	Poland	160,000	Guatemala	38,000
United States	2,000,000	Greece	145,000	United Kingdom	35,000
Brazil	1,300,000	Japan	144,500	Netherlands	23,335
Russia	1,083,000	Colombia	131,270	Slovak Republic	22,000
Turkey	851,830	Chile	126,080	Costa Rica	20,873
Iran	560,000	India	100,000	Sweden	20,200
Egypt	400,000	Portugal	76,000	Jordan	20,000
Venezuela	341,554	Czech Republic	70,000	Croatia	13,000
Germany	334,179	Hungary	66,000	El Salvador	13,000
<b>México</b>	<b>330,000</b>	Rep. Dominicana	65,000	Syria	9,005
Peru	297,162	Ecuador	56,000	Slovenia	6,261
Argentina	324,437	Austria	54,778	Lituania	5,976
Spain	252,208	Romania	52,600	Panama	4,364
France	241,933	Australia	50,000	Latvia	1,845
Tunisia	183,000	Switzerland	46,470	Estonia	1,400
Canadá	170,000	Bolivia	43,000		

Fuente de Tablas 2 y 3: IPO Annual Survey on World Pasta Industry October 2012.

### 1.1.5. Proceso de elaboración de pastas

La elaboración de pasta como hemos visto es una práctica antigua que comenzó de manera artesanal hasta llegar actualmente a tener procesos con tecnología sumamente avanzada con plantas automatizadas. La pastificación se lleva a cabo en una línea continua y automática que trabaja 24 horas diarias, esta se compone de un silo de alimentación de sémola, una prensa al vacío, un túnel de secado y un silo de estabilidad y reposo (West y col., 2013).

La figura 8 representa el diagrama de proceso seguido por este tipo de plantas automáticas elaboradoras de pasta, las cuales tienen algunas ventajas como la mejora de la función del cocimiento; el color de las pastas y la salida de energía; obteniendo una alta gama de formas del producto, reducir los tiempos de transformación; facilitar el mantenimiento de la planta; mayor confiabilidad de la planta y reducir los requerimientos de espacio.

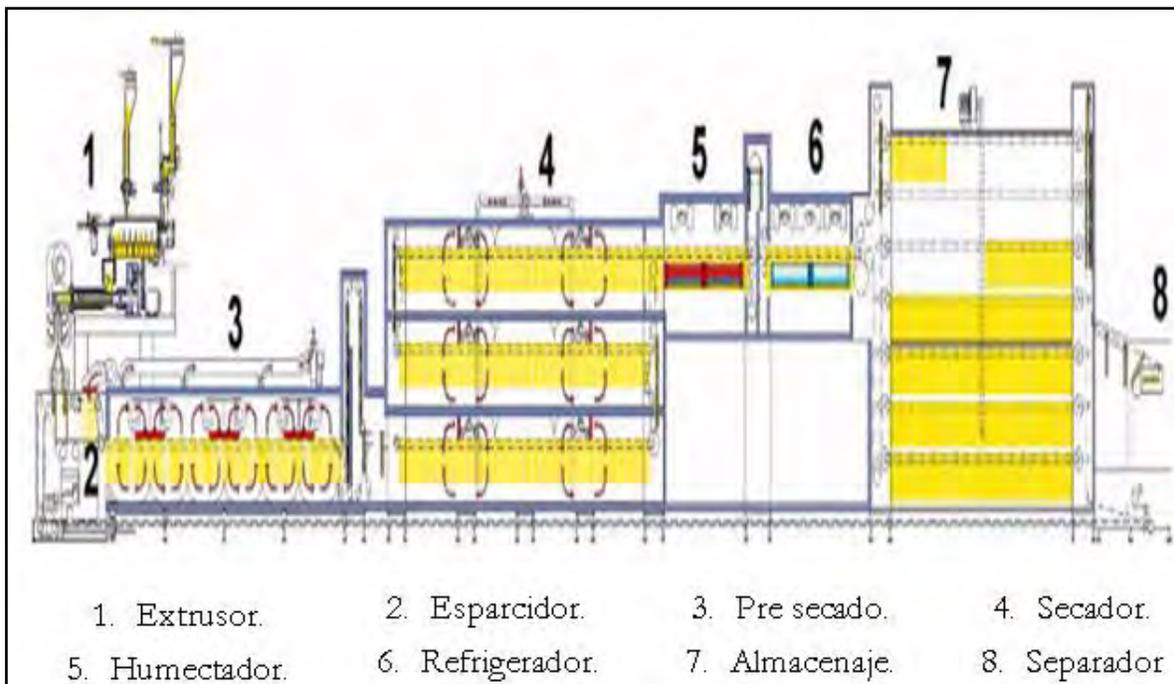
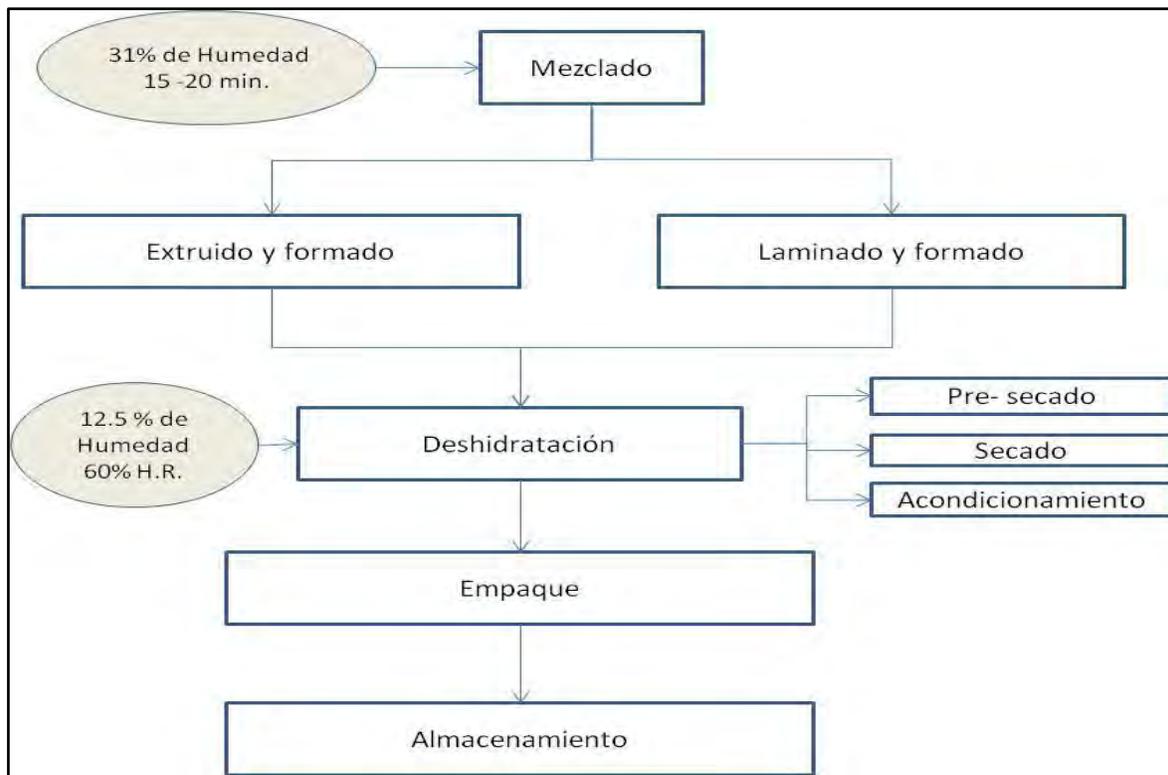


Figura 8: Esquema de una línea continua para la producción de pasta alimenticia. Fuente: González (2003).

Sin embargo esta tecnología no está al alcance de las pequeñas y medianas empresas mexicanas que cuentan con un proceso semi-automático o incluso artesanal, para lo cual se describirán de manera general los principales procesos que intervienen en la elaboración conforme al siguiente diagrama de bloques (Figura 9).



*Figura 9: Diagrama de Bloques para la producción de pastas alimenticias.*

**Mezclado de ingredientes:** Una etapa muy importante en la elaboración de una pasta, está dado por el mezclado de ingredientes ya que una buena homogeneidad de los mismos representará un control de la calidad del producto obtenido. Para llevar a cabo el mezclado generalmente se utilizan mezcladores de paletas como el mostrado en la figura 10, siendo además posible considerar que la operación se lleve a cabo a vacío con la finalidad de minimizar la oxidación de los pigmentos amarillos que son componentes naturales de sémola, y para prevenir la formación de burbujas de aire en el producto, sin embargo depende del equipo con que se

cuenta. La masa resultante se desmorona fácilmente con trozos de hasta 3 cm de diámetro. El tiempo necesario para que la sémola pueda humedecerse en profundidad es del orden de los 15 - 20 min. en los mezcladores más sencillos (Jeantet y col., 2010).



*Figura 10: Mezclador de paletas. Fuente: Maquinaria Pama Roma, mezclador de pasta fresca f.c. 2012.*

Posteriormente esta masa puede pasar por dos procesos distintos como se mostró en la figura 9; la extrusión o el laminado. La gran mayoría de los productos de pasta se forman por extrusión de la masa, a través de un troquel (Marchylo y Dexter, 2001), debido a que este procedimiento es más fácil de realizar, pero se cree que la pasta laminada tiene una mejor calidad y textura.

**Extrusión y formado:** En este proceso se utiliza una máquina de extrusión como la que se observa en la figura 11a, la masa entra en un gusano de *extrusión* (Figura 11b) con un tornillo en donde la mezcla de sémola de trigo duro y agua

crea una red proteica que depende del contenido y calidad de las proteínas de la sémola, así como el tiempo de retención en la mezcladora. Los tornillos están cubiertos con un enchaquetado por donde circula agua de enfriamiento ya que este se calienta debido a la fricción y el cizallamiento que produce el tornillo, la masa y el barril del extrusor (Figura 11c), alcanzando una presión máxima de 10 MPa, la regulación de temperatura es indispensable porque condiciona la viscosidad, las actividades enzimáticas residuales y la regularidad de la estructura almidón - proteína-. El gusano de extrusión mueve la masa hacia adelante, lo comprime en una masa homogénea y la estructura gluteínica se hace continua (Jeantet, 2010).



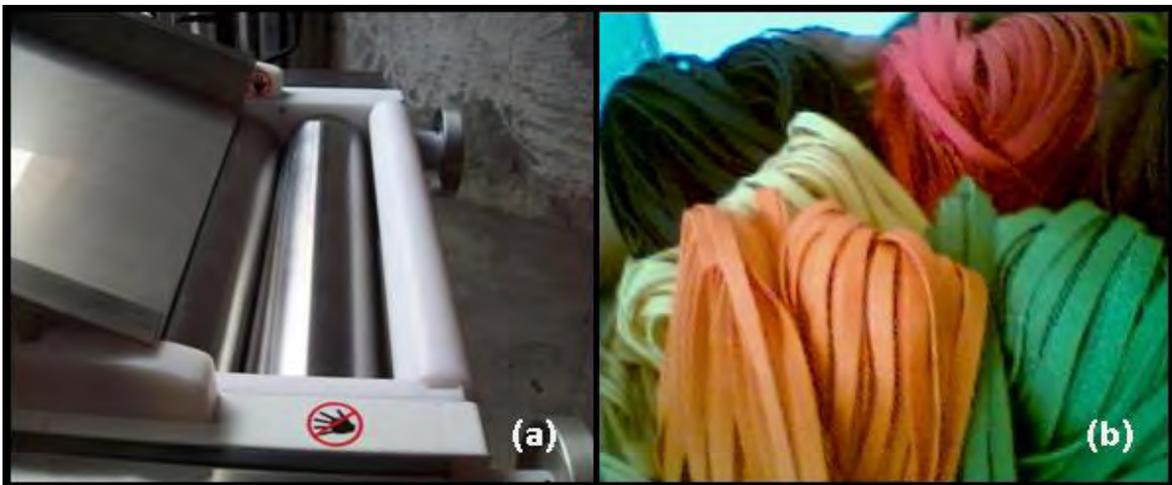
Figura 11: a) Extrusor para pastas, b) torillo, c) molde y corte. *Adaptado de: Maquinaria Pama Roma, extrusor de pasta, f.c., Oct. del 2012*

Para dar la forma deseada a la pasta, se fuerza el paso de la masa a través de un molde o troquel a una presión relativamente alta. La longitud y forma de la pasta es determinada por la configuración de la masa, la forma del molde y la longitud

de tiempo entre la extrusión y el corte. Este tipo de pastas son las “más sencillas” por su proceso, como el spaghetti, la munición, el codo, tubetti, conchita, los fideos, fussilli etc.

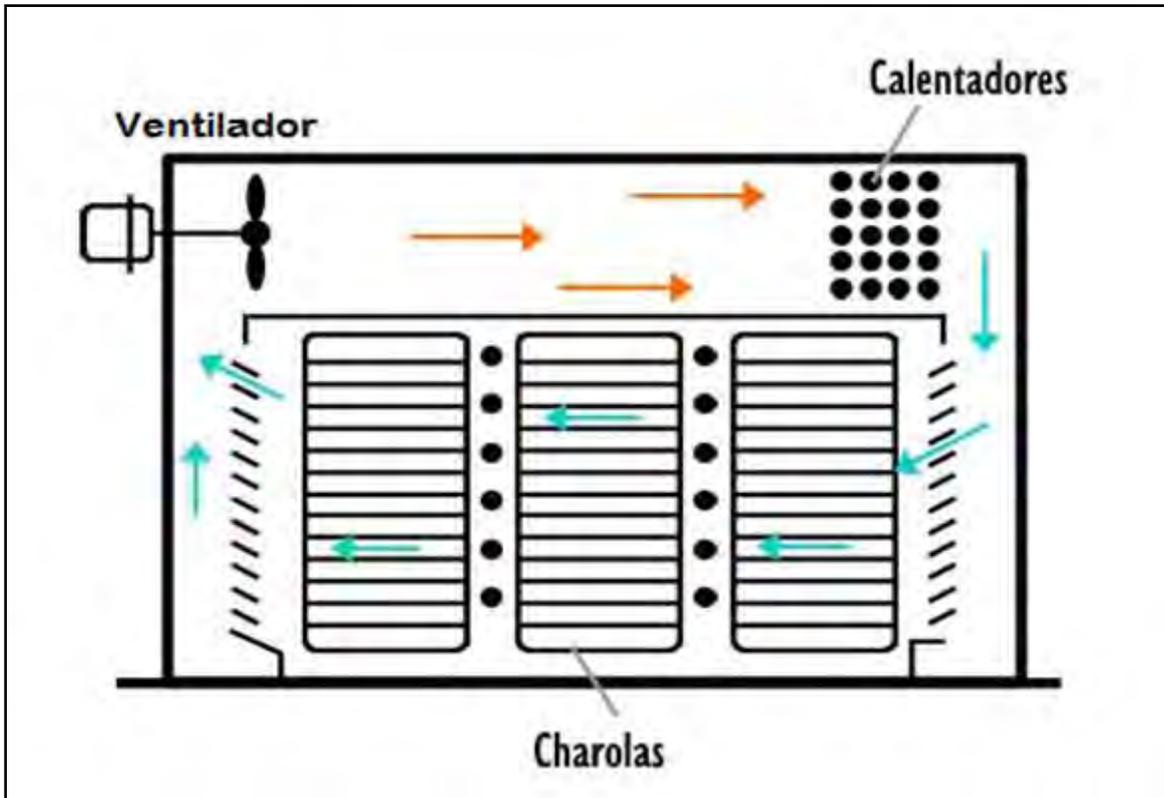
Laminado y formado: En la figura 12a se muestra una laminadora donde se lleva a cabo la deformación volumétrica de la pasta, con la finalidad de reducir su espesor inicial, llevándose a cabo una compactación por compresión generada por el esfuerzo ejercido por los rodillos de la maquina laminadora. La variable más importante a considerar en esta etapa es la separación de los rodillos de tal manera que se logre formar una lámina homogénea, lisa y no quebradiza para su posterior cortado y formado.

Para darle la forma deseada generalmente las láminas de pasta se cortan en rectángulos y cuadros para la elaboración de lasaña o el canelón respectivamente. En la figura 12b se muestra que para la elaboración de tallarines, las láminas se cortan en tiras largas como de 50 cm y 5mm de ancho y con estas se forman madejas de forma manual para su posterior deshidratación. La formación de láminas en lugar del proceso de extrusión es más común para la pasta fresca.



*Figura 12: Obtención de pasta por laminado (a) Laminadora, (b) Tallarines laminados. Adaptada de: Evisos clasificados online, foto laminadora para pastas, 2012 y foto de tallarines de verdura de la empresa “Comercializadora Davinci S.A. de C.V”, enero del 2011.*

**Deshidratación:** Este proceso se divide en tres partes, debido a que las condiciones de secado (temperatura, tiempo, humedad y flujo de aire) deben ser cuidadosamente controladas ya que influyen profundamente en la calidad de cocción de la pasta. En la figura 13 se muestra el diagrama de un deshidratador estático de charolas, comúnmente utilizado en la deshidratación de pastas.



*Figura 13: Diagrama de un deshidratador de pastas estático de charolas. Adaptado de; Equipo de proceso, secadores de charola, f.c. 2012.*

Posteriormente, la pasta se somete a un secado con duración de 8 a 62 horas dependiendo del producto, procurando mantener una humedad relativa dentro del secador del 60%, posteriormente en la etapa de acondicionamiento la pasta es enfriada y estabilizada en cámaras de reposo, permitiendo un control termo higrométrico óptimo, y un producto estable y finalmente se envasa en films termosellables (Zegers, 1988).

## **Defectos recurrentes en el proceso de elaboración de pasta**

**Como** se pudo observar el proceso de elaboración depende de innumerables factores que afectan el producto terminado, enseguida se mencionan los principales defectos recurrentes en la elaboración de pastas:

Contaminación por hongos, ácaros y polillas: causada por una humedad residual superior a un 12%. La salida muy lenta de agua en la etapa preliminar también conduce a aumentar la contaminación y la acidez. (Bitrán y Soto, 1973).

Intensidad de color: en parte el color depende de la cantidad de burbujas de aire presente. Si se aumenta la presión sobre la masa, disminuye el número de burbujas, pero aumenta en tamaño y por ende la transmisión de luz a través de ella, disminuyendo así la intensidad del color amarillo. Además resiste mayor tiempo a la cocción. Otro factor que también influye en el color es el tipo de trigo que se utiliza y la temperatura de secado, si sobrepasa los límites exigidos, tostará el producto haciendo variar su color (Jeantet y col. 2010).

Formación de puntos blancos o cuarteado: Son grietas que aparecen en la superficie o dentro de la pasta o durante el almacenamiento, modificando las características del color de brillantez y de resistencia debido a una mal deshidratación, impidiendo así que la humedad se distribuya homogéneamente en toda la masa (Jeantet y col. 2010).

### **1.1.6. Factores que influyen en la calidad de las pastas**

Consumimos los alimentos básicamente por la necesidad del organismo por sus nutrimentos, pero el comer es también entendido por el hombre como un placer, de hecho la masticación proporciona sensaciones placenteras que satisfacen una

necesidad humana básica. En este sentido el hombre juzga sensorialmente la calidad de los alimentos en base a atributos que percibe por medio de los sentidos fundamentalmente asociados con la textura de la pasta ya cocida, las más importantes se describen a continuación:

### **Harina, sémola o semolina utilizada**

Los principales ingredientes de la pasta tradicional abarcan sémola de trigo duro o harina, semolina de trigo común o harina (Figura 14), o varias combinaciones de estos, además de agua (Milatovic y Mondelli, 1991). El principal ingrediente de la pasta de calidad superior es 100% sémola de trigo duro ya que en una sobre cocción mantiene mejor textura que la pasta hecha de harina de trigo común. Las propiedades texturales de las harinas de arroz, almidón, patata, maíz, guisantes y lentejas, en general son pobres ya que no presentan las mismas características del trigo duro o del blando.



Figura 14: Harina, sémola y semolina de trigo. Adaptado de Rizzi y Lee, 2001.

## **El contenido de proteínas y su calidad**

Se asocia fundamentalmente a la calidad de la pasta cocida y la textura, se considera el más importante de todos los componentes del grano que influyen en la calidad de cocción (Matsuo y col., 1982; Autran y col, 1986; D'Egido y col., 1990).

A medida que aumenta el contenido de proteínas, la pasta cocida se vuelve más firme y más resistente, también es menos pegajosa (Dexter y col., 1983a). La Pasta de alto contenido de proteínas también se conserva firme cuando se mantiene en agua tibia después de la cocción antes de que se sirva.

## **Gluten**

La fuerza del gluten, que se relaciona con la composición de proteínas, es decir, la calidad de la proteína, también se reconoce universalmente como un requisito previo importante para la fabricación de la pasta de buena calidad (Ames y col, 1999). La sémola con gluten fuerte exhibirá masa menos pegajosa con mejores propiedades de extrusión y superiores cocidos en comparación con sémola de gluten débil con similar contenido de proteína. Los atributos de textura de pasta cocida impactados por la calidad del gluten incluyen la mordedura, elasticidad, firmeza, dureza, volumen y suavidad o sensación en la boca durante la masticación y masticabilidad (Cole, 1991).

## **Huevo**

El huevo puede añadirse congelado sin cáscara, fresco, en polvo o como clara de huevo (Giese, 1992). La albúmina de huevo ayuda a mantener la textura y disminuir la adherencia mediante el fortalecimiento de la red de proteínas del gluten (Matsuo y col., 1972; Milatovic y Mondelli, 1991).

### **Monoesterato de glicerol**

Este producto en conjunto con el almidón disminuye la solubilidad y la migración del granulo del almidón sobre la superficie de la pasta durante la cocción (Matsuo y col., 1986).

### **Ácido L-ascórbico**

Milatovic y Mondelli (1991) han informado que el ácido ascórbico tiene una influencia positiva sobre la textura de la pasta mediante la mejora de la red de proteínas

### **Gomas**

Diversas gomas se han añadido a los productos de pasta enlatados o congelados para mejorar la textura , así como para contribuir al contenido de fibra del producto, como la goma Xanthana (Andón, 1987).

### **Verdura**

La pasta tradicional de color hecha por la adición de tomate o espinaca, por ejemplo, se han unido a la pasta con sabor más exótico que contienen hierbas y especias como albahaca, pimienta de limón, el ajo, el perejil y el pimiento rojo, sin embargo estos ingredientes no influirán en la textura de pasta cocida mientras el 5% o menos está presente en ellas (Giese, 1992; Kobs, 2000).

### **Proceso de extrusión**

Las condiciones de extrusión determinan las propiedades físicas y la estructura interna de masa de pasta. La masa con exceso de trabajo, genera alta temperatura y produce mala calidad en pasta pegajosa y viscosa al momento de cocerla (D' Francisci, 2003).

Por tal motivo los cilindros de extrusión cuentan con un sistema de enfriamiento con agua de refrigeración para controlar la temperatura de la masa y proteger la funcionalidad del gluten. Si la temperatura de la masa en el extrusor excede 50 °C, se producirá la desnaturalización de la proteína del gluten, y las propiedades físicas y textura de la pasta cocida se verá afectada negativamente (Abecassis y col., 1994).

La presión de extrusión también afecta a la calidad de pasta de cocción, esta debe ser suficiente para crear una estructura compacta para hacer frente a la cocción. Una presión excesiva provoca cizallamiento y el desgarro de la masa dentro de la extrusora que puede causar daño a la organización estructural de la proteína y la calidad de cocción de la pasta, la presión recomendada de extrusión es de 9 a 12.5 MPa (Dalbon y col., 1996).

### **Deshidratación o secado**

Las condiciones de secado influyen profundamente en la calidad de cocción de la pasta. Si se seca la pasta demasiado rápido la superficie se endurece y la pasta puede fracturarse debido a la tensión de la humedad atrapada dentro, queriendo migrar a la superficie, esta fractura, conocida como «comprobación», da como resultado una estructura débil y calidad de cocción inferior. Los beneficios de secado de pasta con altas temperaturas mejora la textura, incluyendo una menor pérdida de sólidos al agua de cocción, menos tenacidad de la superficie, más firmeza y una mejor tolerancia a sobre-cocción.

### **Reprocesado de pasta**

Los residuos de pasta deshidratada producidos por el corte de productos largos o el producto que no puede ser comercializado debido a la formación de grietas generalmente es molido en partículas finas y es reciclado en el mezclado de pasta

de la siguiente producción, esto afecta la textura final del producto en grumos de reciclado que no se logró rehidratar en su segundo proceso.

### 1.1.7. Cocción y Almacenamiento

Sería una exageración afirmar que la cocción de la pasta significa todo un reto, pero cocerla bien tampoco es tan sencillo. La cocción de la pasta es más importante de lo que algunos puedan pensar, y aunque hay paladares que prefieren la pasta suave, la traducción italiana “al dente” o la “buena mordedura” es mucho mejor para otros.

El término “al dente” se refiere al punto exacto de cocción de la pasta en el que tiene un tacto suave, pero al morderla aún ofrece una consistencia firme, cuando el núcleo de la pasta aún está duro, pero no crudo ni frío. Evidentemente no es sencillo encontrar este punto ya que cada pasta tiene diferente tiempo de cocción dependiendo de todas las características de procesado antes mencionadas, así como de su forma, tamaño y grosor (Rizzi y Lee, 2001). En la figura 15 se muestran las principales etapas de cocción.



Figura 15: Etapas de la cocción de la pasta Adaptado de Rizzi y Lee, 2001.

El punto justo de cocción, según han demostrado las investigaciones llevadas a cabo en Inglaterra por los Doctores O'Deal y Nestel favorece la acción de las amilasas, poderosas enzimas segregadas por el páncreas que resultan fundamentales para conseguir una buena y sana digestión. Por lo tanto, si las pastas están demasiado cocidas, pierden consistencia, su sabor no se fusiona tan fácilmente con las salsas que las complementan y la digestión resulta más lenta.

Bajo el efecto del calor, la pasta sufre una transformación fisicoquímica y una expansión (coagulación de las proteínas, gelatinización del almidón). Estas condiciones de cocción y su desarrollo, determinan la calidad organoléptica, la aptitud a la conservación y a la digestibilidad, a partir de temperaturas de 55 - 60 °C los enlaces fuertes entre las cadenas de almidón implicadas en las formas cristalina son disociados y las cadenas se relajan. El agua puede entonces penetrar, y los gránulos de almidón se hinchan y se abren, la pasta se espesa por dentro: decimos que el almidón gelatiniza, las proteínas de la pasta (gliadinas y gluteninas) al hidratarse se asocian y forman gluten. La aglutinación de las proteínas confiere a la pasta las propiedades viscosas y elásticas, formando estructuras tridimensionales que contribuyen a la estructura (Jeantet y col., 2010).

Existen varios consejos diversificados que nos pueden ayudar a cocer una pasta “al dente” empezando por las recomendaciones del fabricante, y algunos chefs, los cuales se resumen a continuación:

- ✓ Para cualquier tipo de pasta se necesita un mínimo de 1 litro de agua por cada 100 g de pasta.
- ✓ Utilizar una olla de cocción adecuada a la porción de pasta a cocer considerando el agua y que esta necesita ser más alta que ancha.

- ✓ Una temperatura constante durante el tiempo de cocción.
- ✓ Adicionar al agua de cocción aceite de olivo, aunque algunos sólo lo recomiendan para láminas de pasta grandes o en pasta fresca.
- ✓ Introducir la pasta en el agua con sal hirviendo, la dosis recomendada de sal es de 10 g de sal por 1 L de agua.
- ✓ La superficie del agua ha de estar en continuo movimiento, pero sin que haya ebullición fuerte, revolviendo de vez en cuando para homogenizar la temperatura y evitar la adhesión de la pasta.
- ✓ Verificar la consistencia de la pasta en varias ocasiones, poco antes de llegar al tiempo proporcionado por el fabricante y evitar sobre cocción.
- ✓ Tan pronto la pasta alcance la cocción, se vierte sobre una coladera y se deja que escurra, para evitar una cocción posterior no deseada.
- ✓ En algunos casos la pasta se enjuaga con agua fría, sin embargo esto elimina la capa de almidón de la superficie de la pasta. La pasta así tratada se destina para acompañar otros platos o para ser freída con mantequilla. Pero si la pasta se va a mezclar con salsa, no debe prescindirse del almidón para evitar que resbale sobre la superficie de la pasta.
- ✓ Si la pasta se utiliza después de varios minutos de su cocción, se puede bañar con agua de cocción para su posterior mezclado con salsas, mantequilla o para mantenerla caliente.

El tiempo de cocción, que puede ser considerado como el tiempo necesario para gelificar totalmente el almidón. Podemos apreciarlo aplastando la pasta humedecida entre dos placas de vidrio y observando el interior de la pasta: la

presencia de una línea blanca o puntos blancos indica que la pasta todavía no está cocida en el interior.

El tiempo exacto de cocción, corresponde a las características óptimas para el consumo y varía según los gustos. Este tiempo aumenta cuando el contenido de proteína es más elevado (pastas con huevo, por ejemplo) (Jeantet y col. 2010).

Comúnmente la pasta es almacenada en forma seca y esta se prepara minutos antes de su consumo ya que cambia de características texturales con el tiempo, tanto al mantenerla en el agua de cocción como en la coladera en refrigeración, presentando problemas en la suavidad del producto, deshidratación al refrigerar o apelmazamiento de esta.

Así mismo a pesar de que la pasta seca continua dominando las ventas (Anónimo, 1995; Harrison, 1999), los consumidores en los centros urbanos, especialmente en el mundo industrializado, muestran una tendencia hacia la compra de alimentos que están listos para servir y fáciles de preparar. Esta tendencia tiene implicaciones relacionadas con la textura de la pasta ya que su producción requiere de calentamiento y refrigeración o congelación, que puede afectar a la firmeza, la pegajosidad de la superficie y la pérdida de humedad en el producto cocido, debido a que las pastas son un sistema basado en almidón y con el paso del tiempo este sufre cambios después de ser sometido a cocción, enfriamiento y posterior almacenamiento, lo que se llama “retrogradación”, esta indica una recristalización de las proteínas (amilosa y amilopectina) e influye bastante en la textura del producto, como en un aumento en la firmeza con la pérdida de agua o la exudación de agua a lo que se le llama “sinéresis” (Dendy y Dobraszczyk, 2004).

Elaborar la pasta con mucha antelación con respecto a su consumo puede provocar efectos inesperados. Dado lo poco conveniente de meter platos

demasiado calientes en el frigorífico, la pasta se deja enfriar un tiempo. Si éste es excesivo, las posibilidades de recontaminación del alimento aumentan de forma proporcional. En estas condiciones, en efecto, la velocidad de reproducción de los microorganismos se incrementa exponencialmente de acuerdo al tiempo transcurrido (Saltos 2011).

El mejor consejo, por tanto, es consumir el producto inmediatamente después de su preparación, de este modo, además de garantizar su seguridad, se mantendrán las condiciones organolépticas óptimas (Saltos 2011). No obstante las costumbres alimentarias de los países desarrollados evolucionan día a día y a medida que se van aplicando nuevas tecnologías, es indispensable el elaborar platillos alimenticios listos para su consumo (cocinados o precocinados) tanto de forma individual como colectiva, de tal forma que se puedan envasar y conservar de forma adecuada hasta su llegada al consumidor, que los pueda ingerir tras un simple calentamiento, como lo son en los restaurantes de empresas, hospitales, colegios, cocinas.

Un sistema de conservación de estos productos es la refrigeración de platillos cocinados, que consiste en someter a los productos a la acción de temperaturas bajas ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), de forma que se frena el desarrollo de microorganismos. Estas temperaturas aseguran un período de conservación de 1 a 3 semanas dependiendo del producto, durante el almacenamiento del plato la temperatura de refrigeración debe mantenerse uniforme y sin cambios bruscos. Concluida la cocción es indispensable bajar muy rápidamente la temperatura del alimento para relentizar o bloquear las reacciones enzimáticas o bioquímicas y para anular la actividad de los microorganismos responsables del deterioro del alimento. La conservación en refrigeración no debe pasar los 4 días, pues la esterilidad de los

productos cocinados no suele exceder de 6 días, que es el tiempo máximo permitido para su ingestión (Madrid y col., 2003).

Kobs (2000) menciona que una elección adecuada de la forma y el espesor del corte de pasta, junto con la adición de ingredientes opcionales como se ha indicado anteriormente, puede ayudar en el mantenimiento de propiedades de textura aceptables en la pasta congelada. En Japón, la producción de pasta cocida congelada es cada vez más importante debido a la compra de los consumidores en las tiendas de conveniencia.

Es por eso que este trabajo está enfocado en el análisis de la influencia que tienen las diferentes características en la cocción de pasta y almacenamiento refrigerado, en las propiedades texturales de estas

## **1.2. Textura y propiedades mecánicas de las pastas**

La textura de las pastas cocidas es el principal factor a evaluar de manera general en su calidad y juega un papel dominante para influir en la aceptación del consumidor. La textura se puede definir como <<todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores sensoriales mecánicos, táctiles y si es apropiado visuales y auditivos>> lo cual sugiere que la textura es el conjunto de muchos estímulos. Por lo tanto, es preferible utilizar el término “propiedades texturales” ya que este término implica algo más que un sólo parámetro (Rosenthal A, 2001; Kilcast, 2004)

Szczesniak (1963) clasifica las propiedades texturales de los alimentos en función de las características físicas en; mecánicas, geométricas y de composición (contenido de humedad y grasa) en la figura 16 se muestra esta clasificación y los atributos o propiedades con los que se relaciona.

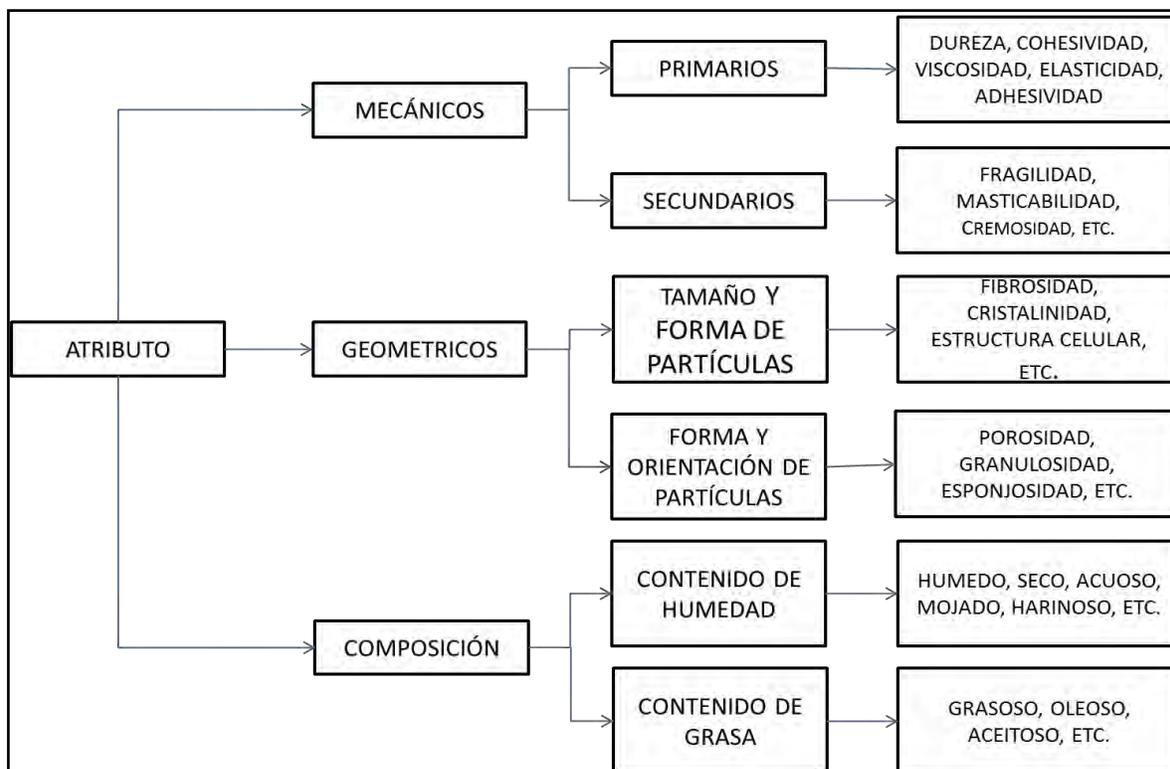


Figura 16: Clasificación de las características de textura. Fuente: Martínez y col. 2001.

Los atributos mecánicos son aquellos parámetros relacionados con la reacción del alimento al ser sometido a una fuerza. Dentro de los atributos o propiedades mecánicas se incluyen cinco parámetros primarios y tres parámetros secundarios, que son compuestos de los primarios.

Los atributos geométricos están relacionados con la disposición geométrica de la matriz del alimento y se dividen en dos clases: los relacionados con el tamaño de partícula y la forma y los relacionados con la forma de las partículas y su orientación.

Los atributos de composición se refieren principalmente a las características de la humedad del alimento y al contenido de grasa.

Para este trabajo nos enfocaremos en los atributos mecánicos, cuya definición puede darse a nivel general, ya que la mayoría de los productos alimenticios los

presentan, sin embargo los atributos geométricos y de composición son específicos para algunos productos como lácteos y productos grasos y sus definiciones están dados en función de productos particulares. Para tener una idea más clara de lo que cada atributo mecánico describe, en la tabla 4 se define cada atributo desde el punto de vista físico y sensorial.

Las características texturales de los alimentos son identificadas en la boca, por el consumidor, en tres fases consecutivas. Estos son la primera fase del mordisco, la fase de masticación y, definitivamente, la fase residual justo antes de ser deglutida. Es importante resaltar la evaluación de las propiedades mecánicas en todos los alimentos semisólidos, incluyendo las pastas, ya que la primera percepción del consumidor se enfoca en los cambios mecánicos del material asociados con la textura del mismo, además de que estas propiedades contribuyen a establecer tiempos y condiciones de almacenamiento, así como la funcionalidad de alimentos pre-procesados en relación a su posterior utilización y consumo, debido a que las propiedades mecánicas cambian notablemente durante el procesado del alimento, así como durante la masticación de este (Kilcast, 2004). Se ha observado que las propiedades mecánicas primarias generalmente se manifiestan y perciben en la fase de apreciación táctil manual, es decir, al dar el primer mordisco, mientras que la geometría y las mecánicas secundarias son destacadas más frecuentemente en la etapa masticatoria, deglutiva y residual (Martínez y col., 2001).

Las propiedades mecánicas se pueden definir como un conjunto de propiedades viscoelásticas, asociadas a la estructura (geométricas y de superficie) de un producto, perceptibles por los receptores nerviosos, asociados a las percepciones sensoriales táctiles, visuales y auditivas (Alvarado y Aguilera, 2001).

Tabla 4: Definición de atributos de textura mecánicos, desde el punto de vista físico y sensorial

ATRIBUTO DE TEXTURA	DEFINICIÓN	
	FÍSICA	SENSORIAL
DUREZA	Fuerza necesaria para una deformación dada.	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólido) o entre la lengua y el paladar (semisólido).
COHESIVIDAD	Qué tanto puede deformarse un material antes de romperse.	Grado hasta el que se comprime una sustancia entre los dientes antes de romperse.
VISCOSIDAD	Tasa de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.
ELASTICIDAD	Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante.	Grado hasta el cual regresa un producto hasta su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.
ADHESIVIDAD	Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre las superficies del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante su consumo.
FRAGILIDAD	Fuerza con la cual se fractura un material (alto grado de dureza y bajo de cohesividad).	Fuerza con la que un material se desmorona, cruje o se estrella.
MASTICABILIDAD	Energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (una combinación de baja dureza, cohesividad y alta elasticidad).	Tiempo requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación, para reducirla a una consistencia adecuada para tragarla.
GOMOSIDAD	Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo (combinación de baja fuerza y alta cohesividad).	Densidad que persiste a lo largo de la masticación, energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para tragarlo.

*Adaptado de Martínez y col, 2001.*

La medida de las propiedades mecánicas tiene siempre como finalidad estimar o evaluar la magnitud de algún aspecto de la estructura de los alimentos y son estudiadas sometiendo el producto a una fuerza (ya sea de compresión, corte, punción o extrusión) y observando la deformación producida por el esfuerzo correspondiente, es decir, tiene como fin determinar cuándo y cómo se rompe el alimento.

En general, las principales propiedades texturales importantes a medir en la pasta cocida en este trabajo serán:

- La firmeza o lo que algunos autores llaman también la dureza, la resistencia al diente. Es la propiedad de un cuerpo, en virtud de la cual soporta la aplicación de una fuerza sin sufrir una ruptura, generalmente expresada en unidades de fuerza como el newton (N) o es más útil considerar la relación fuerza/área ( $F/A$ ), cociente que se denomina esfuerzo con unidades en  $N/m^2$  (Muller, 1977).
- La elasticidad, que junto con la firmeza dan la propiedad llamada “al dente”, generalmente se determina como la relación de esfuerzo/deformación por debajo del límite elástico ( $N/mm^2$ ), llamado también módulo de elasticidad o de Young. Dicho límite es el esfuerzo máxima que un cuerpo es capaz de soportar sin deformarse, porción lineal de la curva fuerza–deformación. (Kilcast, 2004).
- Energía de ruptura, es el trabajo necesario para causar la ruptura del material expresado como joules (J) y nos dará un índice de la dureza o tenacidad del material.

Las propiedades mecánicas de productos alimenticios sólidos y semisólidos como las pastas son un criterio de calidad muy importante para las propiedades de manipulación que puede afectar el procesamiento, envasado, almacenamiento y/o posterior procesado ya que todas las medidas de textura existen con el fin de obtener modelos y evaluar la impresión final que tendrá el consumidor (Roudot, 2004). Con la finalidad de evaluar esta propiedad se han desarrollado diversas técnicas instrumentales, tales como aquellas basadas en pruebas de torsión y tensión. Estas técnicas son efectivas para determinar propiedades físicas fundamentales (De Hombre y Castro, 2003).

### **1.2.1. Métodos de evaluación de las propiedades texturales**

La utilización de métodos de evaluación de las propiedades de textura tiene una historia de más de cien años y por lo tanto se ha desarrollado un número sorprendente de formas de realizarlo (Alvarado y Aguilera, 2001), principalmente se han evaluado de manera sensorial o por métodos instrumentales. Aunque hay claras ventajas de cada técnica, ambas deben ser cuidadosamente estandarizadas con el fin de proporcionar resultados significativos y reproducibles.

#### *Evaluación sensorial*

En la evaluación sensorial los ensayos se llevan a cabo con personas entrenadas llamadas jueces, su entrenamiento es indispensable para la clara comprensión de la técnica, las escalas del material en estudio y para garantizar la precisión de los resultados. Los jueces deben de cubrir ciertas características, como dentadura completa sin caries, tener alineación de los dientes y posición de las mandíbulas “normales”.

Se considera que la evaluación sensorial es el método más fiable de medir las propiedades texturales de pasta cocida ya que los jueces de un panel tienen la capacidad de medir las características generales. En contraste, los métodos instrumentales pueden medir solamente un número limitado de características, que no necesariamente se refieren a características sensoriales. A pesar de las ventajas asociadas a estos métodos, los procedimientos de evaluación sensorial a menudo son criticados por ser técnicas subjetivas. Parte del problema radica en la falta de reconocimiento de que hay dos tipos distintos de ensayos sensoriales existentes:

- **Orientadas al producto;** los ensayos implican el uso de los panelistas seleccionados y entrenados bajo condiciones de ensayo controladas para evaluar los atributos de calidad de un producto. Estos ensayos son objetivos ya que cumplen con los criterios de objetividad: la ausencia de prejuicios personales y repetitividad.
- **Orientados a los consumidores;** los ensayos implican el uso de los panelistas de los consumidores para determinar la aceptabilidad del producto o el grado de simpatía. Estos ensayos por su propia naturaleza son subjetivos, ya que es la información subjetiva (gustos personales) de un grupo de personas que son de interés.

Por lo tanto, si los ensayos sensoriales se realizan bajo condiciones controladas, utilizando expertos entrenados y adecuadas metodologías sensoriales, los procedimientos son objetivos. Pero una clara desventaja en este tipo de ensayos son el alto costo que significa implementarlas y son poco prácticas también cuando el tamaño de muestra es limitado o cuando las muestras a valorar son muy grandes (Edwards y col., 1993), adicionando el tiempo requerido para la realización del ensayo.

### Evaluación instrumental

Un gran esfuerzo se ha hecho para establecer métodos instrumentales para medir las propiedades de textura de pasta cocida debido a las desventajas mencionadas de las técnicas sensoriales, principalmente pueden exhibir mala reproducibilidad si los procedimientos no se siguen debidamente. El gran inconveniente de estas es que una evaluación instrumental no reproduce las respuestas de atributos sensoriales como las proporcionadas por un panel sensorial, sin embargo son consideradas fiables, con una relativamente pequeña variación inherente o error (Rosenthal, 2001).

El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales de forma instrumental se clasificó por Scott- Blair (1958) en ensayos fundamentales, empíricos e imitativos (Rosenthal, 2001).

Ensayos Fundamentales: A través de estos se obtienen propiedades reológicas fundamentales tales como viscosidad y módulo elástico, es decir, aquellas que dependen del material y no del instrumento y el método, una limitante es la heterogeneidad de las muestras y maneja parámetros diferentes a los usados en los procesos de manufactura y durante el consumo de alimentos, se utiliza en fluidos sin propiedades elásticas generalmente, desde el punto de vista práctico presentan poco interés, ya que solamente pueden ser útiles para definir o caracterizar sistemas, sus relaciones con la estructura y proporcionar las bases para el desarrollo de ensayos empíricos o imitativos. Además, se ha demostrado que en general, ofrecen correlaciones muy pobres con la evaluación sensorial de la textura y los ensayos requieren de un material homogéneo y de forma o tamaño perfectamente conocido, entre otras (Castro y Hombre, 2007).

Ensayos imitativos: son aquellas que tratan de imitar las operaciones humanas sobre los alimentos para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, etc.) y asumen que las fuerzas de reacción desarrolladas por la muestra, representan las reacciones humanas. Existe una gran variedad de instrumentos de medición, sin embargo se les ha dado una mayor importancia a los equipos llamados máquinas universales que son una serie de instrumentos de medida de propiedades mecánicas de materiales entre los que se incluyen los alimentos. Estos tienen dos características básicas: 1) pueden realizar diferentes tipos de ensayos con un mismo dispositivo principal, adaptándoles celdas de distinta medida y geometría y 2) permiten registrar la variación de la resistencia que opone el alimento a la fuerza aplicada y obtener el comportamiento mecánico del alimento durante los procesos de formación y de rotura.

Ensayos empíricos: son los más utilizados en la industria, principalmente debido a su rapidez y sencillez, además de que ofrecen mejores correlaciones con la evaluación sensorial que los ensayos fundamentales. Sin embargo, los resultados obtenidos son válidos solamente para ese instrumento y no pueden extrapolarse a otro sistema de medida (Castro y Hombre, 2007). Estos ensayos arrojan como resultado generalmente un sólo dato (distancia, fuerza, área, tiempo, velocidad). En estos ensayos los materiales son sujetos a deformaciones, ya sea bajo compresión, tensión, penetración, corte, flujo, extrusión o combinaciones de estas, algunos ejemplos de este tipo de instrumentos son el penetrómetro universal diseñado para ceras y otros derivados del petróleo y cuyo uso se ha extendido en el área de alimentos y farmacéuticos. El Gelómetro de Bloom para gelatinas, el aparato de Warner-Bratzler (carne), la prensa Kramer utilizado en varios alimentos, etc.

Independientemente de los muy variados instrumentos que existen, todos tienen principios comunes:

- ❖ Utilización de dispositivos: en la mayoría de los casos, se utilizan dispositivos para la ejecución del ensayo, que es el que hace contacto con el alimento para comprimirlo, cizallarlo, cortarlo y estirarlo. Estos dispositivos (también llamados puntas, sondas, sensores) tienen formas geométricas y dimensiones variadas.
- ❖ Modo del ensayo: básicamente existen dos maneras de ejecutar un ensayo: medir fuerza o medir distancia en un tiempo específico o en función del tiempo.
- ❖ Tipo de ensayo: Las fuerzas ejercidas pueden ser en tensión (si la fuerza se aplica hacia afuera del alimento, es decir, se estira), compresión (si la fuerza se aplica hacia adentro del alimento, cizallamiento (fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa, también llamada esfuerzo cortante) torsión, extrusión, etc. En realidad las muestras son sometidas a diferentes tipos de esfuerzos, de manera que el ensayo es destructivo y altera la estructura del material.

### **1.2.2. Criterios para la selección de ensayos:**

El tipo de ensayo que se debe efectuar en un material está en función de las características del producto y el fin para el que se realiza el ensayo.

- ❖ Características del producto:
  - Estado físico: sólido, semisólido o fluido.

- Textura: pegajoso, frágil, duro, suave, compresible, elástico.
- Forma y dimensiones: cúbico, esférico, cilíndrico, amorfo, moldeable, auto sostenible.
- ❖ Aplicación del ensayo:
  - Control de calidad de materias primas y productos: como por ejemplo madurez, frescura, estabilidad.
  - Desarrollo de proveedores: comportamiento viscoelástico, fuerza de gel.
  - Evaluación de funcionalidad de ingredientes: habilidad para el proceso, características del producto final.
  - Desarrollo de productos: forma de consumo, operaciones de preparación para el consumo, desarrollo de propiedades texturales específicas.
  - Desarrollo y control de proceso: determinación de condiciones de proceso, efecto de las condiciones de proceso, relación con las propiedades del producto final.
  - Resistencia al transporte y almacenamiento.
  - Evaluación de materiales de envase.

Selección del dispositivo y diseño del ensayo:

Una vez seleccionado el ensayo a efectuar debe seleccionarse el dispositivo a emplear y las condiciones del ensayo.

- ❖ Selección del dispositivo: el dispositivo a utilizar en un ensayo es fundamental en los resultados. Los factores de tamaño, forma y dureza de la muestra, relación del área de la muestra/área del dispositivo, tipo de ensayo e interés en algún parámetro y el tipo de fuerza aplicada (compresión, tensión, extrusión, corte o penetración).

Una vez seleccionado el dispositivo, es necesario establecer las condiciones de ensayo. Las siguientes son condiciones determinantes en los resultados:

- Celda de carga: es la que mide la fuerza detectada por el dispositivo durante el ensayo, la máquina Instron tiene celdas de carga intercambiables, disponibles de 5, 10 y 15kN. La celda a utilizar depende básicamente de la dureza del material de estudio.
- Velocidad del viaje del dispositivo en el ensayo: depende del objetivo del ensayo, a mayor velocidad, los materiales se detectan más duros y viceversa.
- Tiempo: Se refiere al tiempo total del ensayo, si esta depende del tiempo.
- Dimensiones, cantidad y forma de la muestra: influye notablemente en los resultados, por el área de contacto que ofrece la muestra con el dispositivo y por la resistencia del material. En muestras multipartículas la cantidad se controla por peso.
- Preparación y colocación de la muestra: es importante que la muestra quede bien centrada en relación con el dispositivo a fin de que el contacto sea uniforme y no haya efectos debidos a la cercanía con las paredes del recipiente, etc.

- Homogeneidad de la muestra: la mayoría de los alimentos son por naturaleza heterogéneos, es por eso que se debe de tener cuidado en los aspectos relativos al tamaño y forma de las muestras, si existe mucha variación será necesario efectuar más réplicas.
- Temperatura: es bien sabido que las propiedades texturales dependen de la temperatura y esta es responsabilidad el operario ya que los texturómetros por lo general no tienen un sistema de control de temperatura. Una ventaja es que la duración de la mayoría de los ensayos es muy corta y existe poca variación de la temperatura de la muestra durante el ensayo.
- Reporte de procedimiento: dada la importancia de todos los factores antes mencionados, es fundamental reportar con detalle todas las condiciones de ensayo y sólo comparar resultados que se hayan efectuado bajo las mismas condiciones.

Las principales variables medidas por los métodos de análisis de textura son las siguientes:

- Fuerzas (o esfuerzos)
- Deformaciones
- Desplazamientos
- Tiempos (en viscosimetría)
- Volúmenes
- Energía

En la práctica, las medidas objetivas, reproducibles y comprobables no existen en número importante y de ahí surge la necesidad de precisar siempre el método y

las condiciones de trabajo utilizadas cuando se va a publicar o difundir los resultados de medidas de textura. Ya que se puede decir que cada laboratorio posee sus propios métodos y aparatos experimentales. Existen 2 familias de aparatos principales en el ámbito de los laboratorios de investigación, y muy poco en el ámbito industrial, llamados “instrumentos universales” que se describen a continuación.

### 1.2.3. Maquinas universales de ensayos

#### ➤ Instron

Este instrumento se llama corrientemente Instron<sup>®</sup>, el nombre de la empresa que la fabrica. Se trata de una máquina universal adaptada a las muestras que se obtienen en el campo de la industria agroalimentaria. En la figura 17 se muestra la máquina Instron 4411 que se utilizará en este estudio. Es fácilmente adaptable a ensayos muy variados, consiste en un cabezal que se puede mover verticalmente, a velocidad constante.

Se compone de un armazón rígido, formado por dos columnas de tornillos sin fin, dispuestos verticalmente, permitiendo el desplazamiento de un soporte de dispositivos o porta herramientas, que permiten realizar la mayoría de los ensayos.



*Figura 17: Máquina universal Instron.  
Fuente: Katedra Textilních technologií,  
Instron 4411, 2007*

Las máquinas universales constan de tres partes esenciales: 1) los dispositivos de ensayo, en las que se coloca el alimento y la celda de carga con la que se aplica la

fuerza; 2) el sistema motor, que produce el desplazamiento de la celda y 3) el sistema registra la respuesta del alimento. Las distintas geometrías de los dispositivos de ensayo disponibles, permiten realizar diferentes ensayos. En cada caso hay que seleccionar el tipo de ensayo y la velocidad de deformación en función de las características del alimento, además de considerar la calibración del equipo, comprobar elementos de medida, registro de resultados, control de deformación, fuerzas de fricción y forma de aplicación de la fuerza (Alvarado y Aguilera, 2001).

En la base del equipo se encuentra el sensor de fuerza, las fuerzas y desplazamientos se registran continua y simultáneamente en función del tiempo transcurrido, lo que permite obtener curvas de fuerza *versus* deformación, desplazamiento o tiempo, desde el principio del ensayo a su fin, y así almacenar la historia de los resultados. Esto es una ventaja importante para la interpretación final, en comparación con la mayoría de otros instrumentos que sólo proporcionan un valor juzgado, *a priori*, significativo (Roudot, 2004).

Puede utilizarse para realizar ensayos de penetración, extrusión, cizalladura, compresión, flexión o tensión, doblado y también estudios de histéresis, relajación de esfuerzos, energía de deformación y otros. Todo esto es posible gracias a que basta cambiar la herramienta o dispositivo de trabajo para cambiar el ensayo, estando a cargo del operario la programación de la velocidad de avance o distancia de desplazamiento (Alvarado y Aguilera, 2001; Roudot, 2004).

### ➤ **Máquina universal de deformación (texturómetro)**

El mayor progreso en la descripción instrumental de la textura vino con este instrumento, ya que al utilizar un dispositivo cilíndrico para realizar una doble compresión de un pequeño cubo de alimento, en una acción que imita el

movimiento de la mandíbula, se obtienen curvas de fuerza – tiempo que despliegan la historia completa de fuerza de la acción masticatoria. A esta curva se le conoce como “curva de perfil de textura” y a la extracción de los valores como “análisis de perfil de textura (TPA)”.

De la curva de perfil de textura (Figura 18) se extraen siete parámetros texturales, dureza, fracturabilidad, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticosidad.

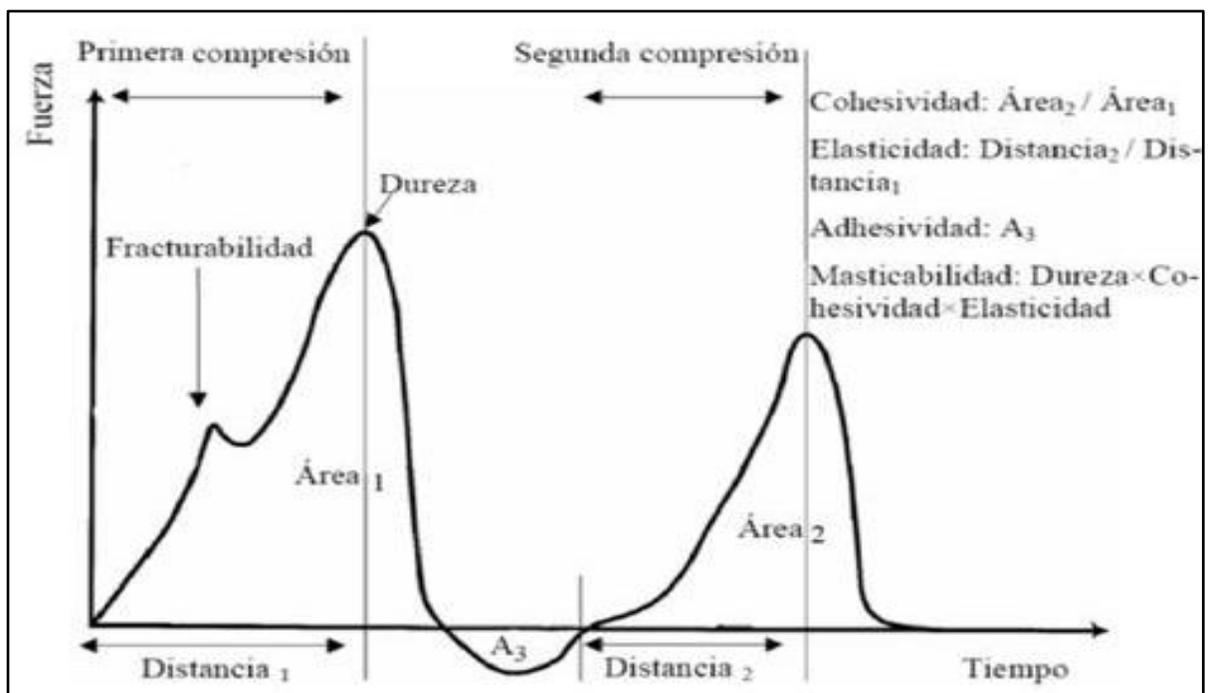


Figura 18: Gráfica general de análisis de perfil de textura. Fuente: Hleap, J. y Velasco A., 2010

Durante 25 años, el TPA no se utilizó extensivamente debido a la complejidad y costo de los instrumentos de que se disponía y la dificultad de los cálculos para obtener los parámetros texturales, pero hoy en día, el desarrollo de la electrónica y la computación permite tener instrumentos a precios razonables que efectúan de manera rápida y sencilla pruebas de TPA, entre otras, y los cálculos para la obtención de los parámetros texturales.

#### **1.2.4. Principales ensayos mecánicos en análisis de textura**

##### ✓ Ensayos de penetración

Este ensayo consiste en introducir una longitud dada de un punzón, de forma y tamaño conocidos, en el producto a analizar. Se mide la fuerza necesaria para realizar esta penetración, se trata de uno de los ensayos más utilizados en el campo de los sólidos, pues parece ser el que más se acerca a la penetración de los dientes en el alimento.

##### ✓ Ensayo de Torsión

Para los ensayos de torsión, se aplica una fuerza que tiende a girar una parte del material alrededor de un eje, lo que implica una deformación por rotación del producto y se mide la compresión o cizalla, este ensayo es cualitativo, por lo que es poco utilizado en el campo de los sólidos, se emplea para dar una idea del tipo de ruptura predominante en el producto analizado.

##### ✓ Ensayos de corte cizalla

En el campo de la mecánica se estudia el desplazamiento, paralelamente a su superficie de contacto, de dos zonas contiguas de un producto y generalmente en alimentos se habla de la cizalla como el corte de un producto en dos partes independientes. El ensayo consiste en crear un tajador y medir la fuerza necesaria para cortar el producto, se trata de una medida empírica e imitativa. En este ensayo, más que una cizalla pura, se mide una mezcla de efectos que tienen mucho de extensión, de compresión, de flexión y demás, ciertamente la predominante es la de cizalla (Méndez y De Hombre, 1994).

### ✓ Ensayos de extrusión

El ensayo consiste en aplicar una fuerza al alimento para forzarlo a pasar a través de un espacio restringido a velocidad constante. Generalmente se mide la “fuerza máxima de extrusión” como una medida de las propiedades mecánicas, aunque se ha medido también la fuerza media en el plato y el área bajo la curva. La forma y la magnitud de la curva de extrusión está influenciada por la elasticidad, viscoelasticidad y comportamiento en la ruptura del material, por el tamaño de la muestra, la velocidad de deformación, la temperatura, el tipo de dispositivo utilizado y la homogeneidad de la muestra.

### ✓ Ensayo de tensión

Este ensayo no es muy utilizado en alimentos, porque la masticación supone una compresión del alimento entre los molares y falta de tensión. En este caso, de la curva obtenida puede calcularse: la resistencia a la tensión, la extensibilidad y la energía. Con la proliferación de diversos tipos de máquinas universales de ensayos, los ensayos de tensión son generalmente desarrollados en estos equipos.

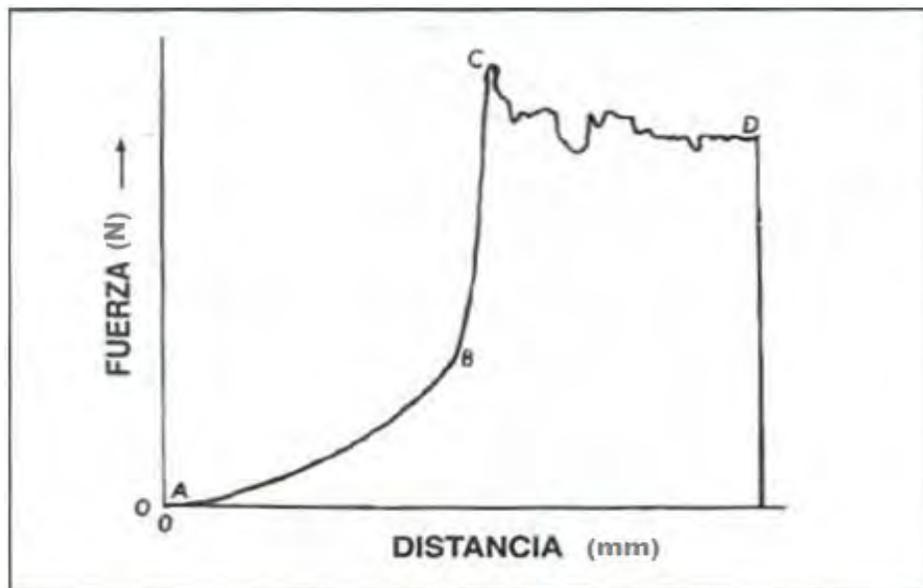
### ✓ Ensayos de compresión – extrusión

El ensayo de compresión - extrusión, es una prueba simple, para medir las propiedades mecánicas de algunos alimentos, se coloca una muestra dentro de una caja sin tapa y se comprime este con un dispositivo ajustado (celda), hasta que el alimento fluya hacia abajo a través del espacio entre el dispositivo y pared de la caja.

El producto se comprime hasta que se destruye su estructura y puede ser extrudido. Clásicamente, se mide la fuerza máxima necesaria para la extrusión, este ensayo se considera frecuentemente como un medio excelente de caracterización

de un alimento, asociado a una medida de compresión o cizallamiento (Méndez y De Hombre, 1994).

En estos se manifiesta la resistencia mecánica que presenta un material cuando se aplica cierta carga sobre él. Esta carga debe ser un esfuerzo normal concentrado; por esta razón, se procura que las muestras cumplan la relación de longitud/diámetro igual a 1.5, para evitar que esta se pandee cuando no actúa como columna, lo cual puede ocasionar fallas, generalmente se realizan en una máquina Instron donde la muestra se somete a una carga axial normal. Entre otras cosas, esta máquina proporciona gráficas de fuerza vs deformación (Anzaldua, 1994), como la mostrada en la figura 19.



*Figura 19: Diagrama de esfuerzos-deformaciones en un ensayo de extrusión. Fuente: Alvarado y Aguilera 2001.*

La curva de fuerza – deformación se observa primero un aumento paulatino de la fuerza, que corresponde a una deformación y compresión del producto dentro del recipiente, disminuyéndose el volumen de aire que hay en él pero sin producirse ruptura de tejidos. Cuando prácticamente no queda aire, la fuerza aumenta

rápidamente hasta que se produce la ruptura del producto y el flujo a través de las ranuras, en este punto se mide la fuerza necesaria para la ruptura por extrusión del producto. A partir de este momento aparece una meseta, dependiendo de lo que domine en el ensayo sea la cizalla, compresión o extrusión y/o adhesión. Ejemplos en los que se aplican: frutas, verduras, pastas y grasas (mantequilla, margarina, manteca vegetal) etc. (Alvarado y Aguilera, 2001; Solano, 2001; Chiralt y col., 2007).

### **1.2.5. Desventajas de los ensayos de compresión - extrusión**

A pesar de que este tipo de ensayos tienen muchas ventajas, dependiendo del objetivo de los experimentos pueden presentar las siguientes desventajas:

- No se pueden determinar los parámetros tales como velocidad de rotura y energía de fractura específica, sino únicamente en función al ensayo total.
- Los refuerzos de la muestra y las placas de compresión pueden afectar los resultados al momento de realizar los cálculos de esfuerzo, deformación y hacer difícil la ubicación de fractura.
- La fractura inicia a menudo antes de que pueda verse el exterior de la muestra o bien notar un cambio en la fuerza requerida.
- En la evaluación debe de tomarse en consideración que exista el mínimo rozamiento entre la muestra y las placas de compresión de tal manera que no afecte los resultados esfuerzo vs deformación.

Análisis de resultados en los ensayos y cálculo de parámetros:

- Análisis de gráficos: Dependiendo del ensayo se va desplegando una gráfica o curva que da una idea de los que sucede durante esta, la forma de la gráfica, la presencia de picos la magnitud de las áreas, las pendientes, etc.,

permiten tener una primera impresión de como se comportó el material durante el ensayo. Las gráficas que se utilizan generalmente son: fuerza-tiempo, distancia-tiempo, fuerza-distancia; y es importante decidir con cuál se trabajará en base a la que refleje mejor los resultados y extraer mejor los parámetros.

- Una vez que se tiene la gráfica, se decide cuáles son los parámetros más importantes que ayuden a la descripción de las propiedades texturales del material bajo ensayo y la comparación de los efectos de las variables en estudio. Entonces se procede a la obtención de los mismos, apoyándose en el software del equipo.

Parámetros que se pueden obtener:

- a) Directos: fuerzas, distancias, tiempos máximos, mínimos o finales, picos de fuerzas o áreas bajo determinadas partes de una curva.
- b) Indirectos: pendientes en determinadas zonas de una curva, que por lo general indican resistencia en curvas de fuerza-distancia, distancias entre puntos específicos o diferencias de áreas.
- c) Derivados: Relaciones de fuerzas, distancias, tiempos de puntos específicos, cocientes o productos de estos.
- d) Análisis externo de datos: otra posibilidad es exportar los datos de fuerza y distancia ya sea a una hoja de cálculo, paquetes matemáticos o programas diseñados para fines específicos.

## **Dispositivos de ensayo**

Dentro de la amplia gama de dispositivos de ensayos que existen, se describen a continuación dos, que se pueden utilizar para la determinación de las propiedades texturales de pasta cocida.

- Celda Kramer

Kramer en 1961 desarrolló la celda de corte-presión Kramer (Figura 20), en la que el alimento se coloca en una caja mecánica rectangular cuyo fondo y tapa están formadas por una serie de rejillas (1/8 pulgada) a través de las cuales pasa una serie de hojas movidas por un pistón a una velocidad previamente seleccionada. La resistencia del alimento al cizallamiento se puede medir como fuerza máxima o de rotura, mediante el registro eléctrico de la curva fuerza distancia, pero se sabe que se produce una combinación de compresión, torsión y cizallamiento.

Los ensayos con hoja de corte solas no pueden trabajarse bien para artículos pequeños, sin embargo una ensayo de cortes múltiples usando varias hojas de corte como esta, puede ser más aplicable en la determinación de la tolerancia a la cocción de muestras de pasta conforme a las materias primas y métodos de proceso utilizados para su elaboración (Smewing, 1997).

Todos los estudios realizados para tratar de dar solución a los problemas de selección de variedades de frutas para la industria, han incorporado la utilización de esta celda acoplada a una máquina Instron y en la gran mayoría de los casos, sus resultados han ofrecido magníficas correlaciones con la evaluación sensorial. En la actualidad la técnica empleando la celda de Kramer es un método normalizado para el análisis de propiedades mecánicas de derivados de frutas y vegetales sólidos, debido a que la caja donde se coloca la muestra puede recibir un peso dado de la misma, la heterogeneidad del producto no resulta inconveniente en este caso y sólo se requiere mantener una determinada masa de producto para evaluar.

Un estudio sobre la influencia del tiempo de almacenamiento en el endurecimiento de frijoles negros que se importan en Cuba, han indicado que los resultados obtenidos utilizando la celda Kramer, son capaces de diferenciar entre distintos tratamientos para reducir un ablandamiento de aquellos frijoles con más de 6 meses de almacenamiento, además de demostrar los cambios en la propiedades mecánicas con el tiempo durante el almacenamiento en diferentes condiciones (Alvarado y Aguilera, 2001).



*Figura 20: Celda Kramer adaptada a la máquina universal. Fuente: Foto de celda Kramer utilizada para este estudio, LEM IV, UNAM C-1, 2008.*

Por lo tanto, la determinación de la fuerza de compresión – extrusión consiste en aplicar una fuerza a un alimento hasta que este fluya a través de una salida, la cual puede estar en forma de uno o más orificios o aberturas que se encuentren en la celda de ensayo, generalmente la fuerza máxima requerida para complementar la

extrusión del alimento es medida y usada como un índice de la calidad de las propiedades mecánicas del alimento (Roudot, 2004).

- Celda Ottawa

Otra celda comúnmente utilizada para medir propiedades mecánicas es por medio de la celda Ottawa diseñado por Voisey, se desarrolló como un sustituto del tenderómetro de chícharos. Consiste en una caja cerrada en el extremo inferior por un sistema de alambres o un plato perforado, y un pistón que fuerza al material a extrudirse por alguno de estos sistemas que son intercambiables. La muestra es extrudida haciéndola pasar a través de un enrejado de aluminio en la celda de ensayo, aunque se han desarrollado otras celdas de ensayo para el instrumento que se basan en otros principios tales como cizalla y compresión. Esta celda ha sido utilizada extensamente para evaluar las propiedades mecánicas de productos de mar con magníficos resultados. A partir de las curvas fuerza vs deformación que se obtienen, pueden calcularse diversos parámetros como dureza, cohesividad y masticabilidad (Rosenthal, 2001).

### **1.3. Diseño Taguchi**

El Dr. Genichi Taguchi es un ingeniero que investigó ampliamente en el Laboratorio de Control Electrónico de Japón el diseño de técnicas de experimentación durante la década de 1940. Su objetivo principal era hacer un diseño experimental de gran alcance, fácil de usar y aplicar, esto para mejorar la calidad de los productos manufacturados. El Dr. Taguchi es actualmente un consultor de calidad internacionalmente reconocido, y sus contribuciones han hecho un avance significativo en la calidad del producto y el proceso a través del uso del diseño estadístico de experimentos. Taguchi propuso varios nuevos enfoques para los diseños experimentales que ahora se llaman “Métodos Taguchi

". Fueron introducidos en los EE.UU. durante la década de 1980 como un medio para diseñar productos y procesos adecuados. Actualmente, estos métodos se aplican ampliamente en muchas áreas de la ingeniería.

El método tradicional de optimización de procesos implica el estudio de una variable a la vez, lo que requiere una serie de combinaciones de experimentos que requieren tiempo, costo y mano de obra intensiva.

En los métodos de Taguchi, las variables o factores están dispuestos en una matriz ortogonal. Las propiedades de la matriz ortogonal son tales, que entre cada par de columnas de cada combinación de niveles (o variables) aparece un número igual de veces. Debido a una disposición ortogonal, los efectos de los otros factores pueden ser equilibrados y dar un valor relativo que representa los efectos de un nivel en comparación con los otros niveles de un factor dado. En la matriz ortogonal de experimentos, el número de ejecuciones de ensayo se reduce al mínimo, mientras se mantiene la propiedad de equilibrio de pares.

En general, la metodología desarrollada por Taguchi se puede utilizar en cualquier diseño de producto u operación de manufactura, independientemente del volumen o el tipo de producción o el mercado servido. Esta metodología se ha aplicado ampliamente en muchos sectores industriales, sin embargo, su aplicación en las ciencias biológicas ha sido limitada (Ravella y col., 2008).

La metodología Taguchi consiste principalmente de cuatro pasos:

- I. Fase de planificación: hay que tener una comprensión general del proceso global de investigación, debe incluir individuos con conocimiento de los procesos involucrados, para conocer las variables, el número y las combinaciones de niveles de los factores. Taguchi ha construido un

número de matrices para lograr el diseño de experimentos. Cada matriz puede ser utilizada para adaptarse a una serie de situaciones experimentales.

- II.** Realización de fase: Los experimentos diseñados utilizando matrices ortogonales especiales se llevan a cabo de forma aleatoria

La designación simbólica de estas matrices indica la principal información sobre el tamaño de la experimentación:

$$L_a (b)^c$$

Donde:

**L** = Indica que es un arreglo ortogonal (cuadrados latinos).

**a** = Representa el número de ensayos o corridas experimentales que se tomarán. Esto es el número de renglones o filas en el arreglo.

**b** = Representa los diferentes niveles a los que se tomará cada factor.

**c** = Número de columnas o factores (variables independientes) que se pueden analizar de un arreglo ortogonal.

La metodología de Taguchi utiliza varias matrices de diseño, como  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_9$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{16}$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$  y  $L_{64}$ , que se centra en los efectos principales e incrementa la eficiencia y la reproducibilidad de experimentos en pequeña escala. El grado total de libertad disponibles en un arreglo ortogonal es igual al número de ensayos menos uno. Cada columna se compone de una serie de condiciones dependiendo de los niveles asignados a cada factor.

- III.** Fase de Análisis: Los datos del experimento se analizan y las condiciones óptimas se predicen. Se identifican los factores que no afectan substancialmente las características de calidad, a fin de liberar el control de estos factores y ahorrar costos de ensayos.
- IV.** Fase de ejecución: los experimentos se llevan a cabo para verificar los resultados obtenidos e implementar soluciones (Ravella y col, 2008).

La diferencia entre los métodos estadísticos y métodos de Taguchi es que los métodos estadísticos que dicen lo que ha sucedido y los métodos de Taguchi le dirá cómo hacer que esto suceda.

La idea básica del uso de experimentos Taguchi, es variar factores de control y los factores de ruido en el mismo experimento y buscar posibles interacciones de control de ruido de los factores.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Objetivos**

#### **Objetivo General:**

Evaluar el efecto de las condiciones de cocción y almacenamiento refrigerado sobre las propiedades mecánicas de pasta laminada (tallarín) y extruida (fusilli), para el establecimiento de aquellas que mantengan mejor su textura respecto a la inicial.

#### **Objetivos particulares:**

- Determinar las condiciones de ensayo reproducibles que permitan conocer el cambio en propiedades mecánicas de la pasta mediante el empleo de una máquina universal Instron 4411 para la evaluación de los cambios asociados a la cocción y almacenamiento refrigerado.
- Establecer el efecto de las condiciones de cocción y almacenamiento refrigerado sobre la firmeza, módulo de Young y energía en el área borde de las pastas tallarín y fusilli, empleando metodología Taguchi.

### **2.2. Material Biológico**

En este trabajo se utilizaron dos tipos de pasta (laminada: tallarines de huevo y extruida: fusilli de huevo), obtenidas de un solo lote de producción de una empresa de la zona de Atizapán de Zaragoza, Estado de México, esto con la finalidad de tener un control de las condiciones de fabricación de la misma. La pasta fue elaborada con semolina de trigo duro marca Cordon Azul-Postinera®, con un contenido de humedad del 14.33%, cenizas 0.8 % gluten húmedo de 24.5 %.

- ✓ Pasta laminada: tallarines de huevo (5.5 mm de ancho y espesor de 0.95 mm) elaborados en una laminadora 2002 marca LB Italia S. R. L. de Lazate, Milano Italia, modelo D600 #603-02 y deshidratada en un secador estático de charolas.
- ✓ Pasta extruida: fussilli de huevo (1 cm de espesor) elaborado en un extrusor marca Italtel de Fidenza (PR) Italia, modelo Px40 #940032 y deshidratada en un secador estático de charolas.

### **2.3. Cocción de la pasta**

Se requiere de una estandarización del proceso de cocción ya que se ha descubierto que numerosos factores afectan la textura final de la pasta. Los factores más importantes a considerar son el tiempo de cocción, la relación pasta - agua, la dureza y el pH del agua de la cocción y el tiempo transcurrido entre el drenado de la pasta cocida y los ensayos (Menger, 1979).

Se ha demostrado que el tiempo transcurrido después del drenado afecta a la firmeza de la pasta y la pegajosidad (Voisey y col., 1978, Dexter y col., 1983a), Mientras que la dureza del agua se ha encontrado que impacta sobre la pegajosidad de la superficie (D'Egidio, 1981; Dexter y col., 1983b; Malcomson y col., 1993). El tiempo de cocción y la relación de cantidad de agua y pasta influyen en todos los parámetros texturales; generalmente, para fines experimentales, una relación de agua - pasta de 10:1 se utiliza generalmente y el tiempo de cocción óptimo, es definido como el tiempo de cocción correspondiente a la desaparición del núcleo central blanco.

Con el fin de no considerar como variable de influencia la cocción de la pasta, está se realizará a condiciones constantes, con una temperatura de 90 °C, tiempo de cocción de 9 min, utilizando agua destilada para evitar la influencia de la

concentración de sales, la masa de producto sometido a cocción fue de 100g de pasta seca/L de agua, ningún ingrediente adicional será empleado durante la cocción. Previo a la evaluación, las muestras se enjuagarán con agua fría con la finalidad de tener una temperatura de 25 °C al momento de la realización de los ensayos y se escurrirán durante 3 minutos. Después de atemperar la pasta se procederá a realizar los ensayos tomando el peso de la muestra a utilizar.

#### 2.4. Estandarización del método de ensayo

Para el desarrollo experimental se empleará un equipo INSTRON 4411, como dispositivos de ensayo una celda de extrusión-cizalla (celda Kramer) y una celda de compresión-extrusión (Ottawa), los resultados obtenidos serán tratados utilizando el software IX de INSTRON, las variables de respuesta a considerar son, la fuerza de ruptura (firmeza), energía de ruptura total de compresión-cizalla o extrusión (dureza) y el módulo de Young.

Con la finalidad de obtener resultados repetibles durante la evaluación de los cambios en propiedades texturales de pasta, es necesario seleccionar el dispositivo de ensayo más adecuado, de tal manera que se obtengan resultados repetibles en el resto de la experimentación, para este fin se realizó un diseño factorial 2<sup>4</sup> completo, considerando cuatro variables y dos niveles, de acuerdo con las condiciones mostradas en la Tabla 5.

*Tabla 5. Variables y niveles de variación a utilizar para la estandarización del método de ensayo en la maquina INSTRON 4411.*

VARIABLES	NIVEL 1	NIVEL 2
1.- Velocidad de cruceta	180 mm/min	300 mm/min
2.- Fuerza aplicada	15 KN	5KN
3.- Peso de la muestra	15 g.	20 g.
4.-Dispositivo	Celda Ottawa	Celda Kramer

En la Tabla 6, se muestra las corridas experimentales para el diseño factorial  $2^4$ , realizadas de manera ordenada, sin embargo es importante mencionar que los ensayos se realizaron por triplicado y en forma aleatoria, para eliminar influencia de factores no controlables. Una vez llevadas a cabo todas las corridas experimentales y considerando todas las repeticiones realizadas, se procederá a analizar los resultados obtenidos, utilizando para ello el software estadístico MINITAB 14<sup>®</sup>, para posteriormente llevar a cabo la evaluación de las condiciones de cocción e ingredientes utilizados, sobre el almacenamiento refrigerado de tallarines y fussilli.

*Tabla 6. Corridas a realizar para la estandarización del método.*

<b>CORRIDA</b>	<b>VELOCIDAD (mm/seg.)</b>	<b>FUERZA (KN)</b>	<b>PESO DE MUESTRA (g)</b>	<b>TIPO DE DISPOSITIVO</b>
1	300	5	15	KRAMER
2	300	5	20	KRAMER
3	180	5	20	OTTAWA
4	300	15	15	KRAMER
5	180	5	15	OTTAWA
6	180	5	20	KRAMER
7	300	15	20	OTTAWA
8	180	15	20	OTTAWA
9	300	15	15	OTTAWA
10	180	15	20	KRAMER
11	180	15	15	OTTAWA
12	300	15	20	KRAMER
13	300	5	20	OTTAWA
14	180	5	15	KRAMER
15	300	5	15	OTTAWA
16	180	15	15	KRAMER

## 2.5. Diseño Experimental Taguchi

Cuando se desean estandarizar las condiciones de proceso como sucede en la cocción de pasta destinada a su utilización para la preparación de platillos, es necesario optimizar tanto las condiciones tiempo-temperatura, así como los ingredientes utilizados para su cocción, de tal manera que se decidió realizar un diseño experimental Taguchi  $L_{16} 2^6$ , las variables y niveles para la realización de los ensayos son los mostrados en la tabla 7, todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Tabla 7. Variables y niveles de variación utilizados para la evaluación de propiedades mecánicas.

VARIABLES	NIVEL 1	NIVEL 2
1. Tiempo de cocción	6 min	9 min.
2. [NaCl]	5 g/L	10 g/L
3. Aceite	✘	3 mL/L
4. Tratamiento	✘	✓
5. Tiempo de refrigeración	1 día	2 días
6. Tipo de pasta	Tallarín	Fusilli

✓ = con      ✘ = sin

Las características del diseño Taguchi y las interacciones consideradas son mostradas en la figura 21, las variables fueron seleccionadas en orden de importancia, asignándoles las siguientes posiciones en el diseño, correspondientes con la figura 21. La variable más importante corresponde al tiempo de cocción (1), seguida del NaCl adicionado (2), el (4) a la utilización de aceite, (8) corresponde a si fueron o no enfriadas por inmersión en agua, previo al almacenamiento, (14) corresponde al tiempo de almacenamiento refrigerado y (15) se refiere al tipo de pasta (laminada o extrudida).

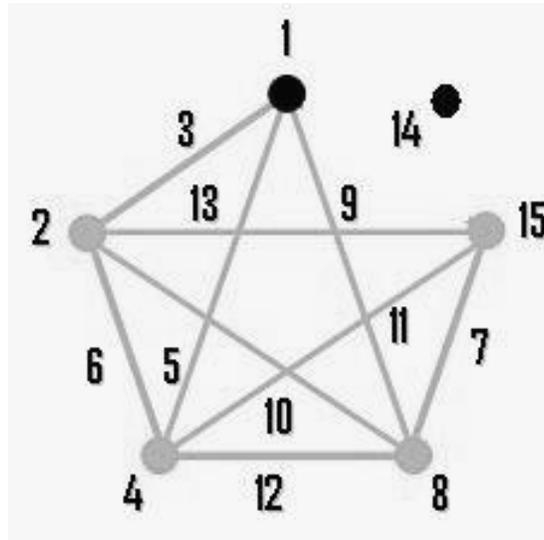


Figura 21: Diseño Taguchi  $L_{16} 2^6$ . Adaptada de: American Supplier Institute, matrices ortogonales, 2007.

De tal manera que las interacciones de las variables son las que corresponden a los números marcados en la parte media de la unión de dos puntos, el número 1 como puede observarse, es la variable de mayor importancia, además puesto que a pesar de que la refrigeración es importante, es independiente de las condiciones antes establecidas, por lo tanto se consideró en el número 14 sin ninguna interacción con las demás variables.

En la tabla 8 se muestra la secuencia que se siguió para llevar a cabo los experimentos, así como el total de corridas experimentales realizadas, tomando en cuenta las interacciones importantes de las variables; el diseño experimental Taguchi se realizó utilizando la herramienta de diseño de experimentos del software MINITAB 14<sup>®</sup>.

Para la obtención de las muestras en esta etapa de trabajo, se cocieron 50 g de pasta seca/500 mL de agua, llevándose a cabo la preparación de acuerdo a las condiciones mostradas en la tabla 8. Con la finalidad de homogenizar la cocción se llevó a cabo el movimiento de las muestras una sola vez a la mitad del tiempo de

cocción según correspondiera al diseño experimental. Las muestras se escurrieron por tres minutos y se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta tener una temperatura de 25 °C, previo al almacenamiento refrigerado. Posteriormente las muestras fueron envasadas en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenadas en refrigeración a 4 °C.

*Tabla 8. Corridas realizadas para la evaluación de las propiedades mecánicas conforme al diseño experimental ortogonal Taguchi L<sub>16</sub> 2<sup>6</sup> con seis variables a dos niveles de variación.*

ENSAYO	TIEMPO DE COCCIÓN (min.)	[NaCl] (g/L)	ACEITE (mL)	TRATAMIENTO	REFRIGERACIÓN (días)	TIPO DE PASTA
1	6	5	✘	✘	1	Tallarín
2	6	5	✘	✓	2	Fussilli
3	6	5	✓	✘	2	Fussilli
4	6	5	✓	✓	1	Tallarín
5	6	10	✘	✘	2	Fussilli
6	6	10	✘	✓	1	Tallarín
7	6	10	✓	✘	1	Tallarín
8	6	10	✓	✓	2	Fussilli
9	9	5	✘	✘	1	Fussilli
10	9	5	✘	✓	2	Tallarín
11	9	5	✓	✘	2	Tallarín
12	9	5	✓	✓	1	Fussilli
13	9	10	✘	✘	2	Tallarín
14	9	10	✘	✓	1	Fussilli
15	9	10	✓	✘	1	Fussilli
16	9	10	✓	✓	2	Tallarín

✓ = con      ✘ = sin

Previo a la realización de las muestras de pasta, se seleccionaron los tallarines de en promedio 5.5 cm de ancho y un espesor de 0.95 mm y para el fussilli de huevo los que tuvieran un espesor de 1 cm.

Para la realización de los ensayos de textura se utilizaron las condiciones obtenidas del análisis de estandarización antes mencionado; como velocidad de cruceta 300 mm/min, peso de muestra de 15 g. y como dispositivo de ensayo la celda Kramer. Las variables de respuesta analizadas fueron la firmeza (fuerza de ruptura), módulo de Young, la energía en el área de borde y la energía total de ruptura (dureza).

## **2.6. Análisis estadístico**

Para el análisis de datos de acuerdo con los diseños experimentales propuestos y los análisis de varianza necesarios se utilizó el software estadístico MINITAB 14<sup>®</sup>.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados en la estandarización del método de ensayo

En la tabla 9 se muestran los resultados correspondientes al análisis de varianza con un nivel de significancia del 5 %. Los resultados del diseño factorial  $2^4$  muestran los valores de probabilidad normal (p) para la firmeza o fuerza máxima necesaria para romper la muestra sometida a los ensayos, bien sea por compresión-extrusión, o cizalla-extrusión.

Tabla 9. Análisis de Varianza ( $\alpha=0.05$ ) en variables de respuesta.

Fuente	Firmeza		Energía de ruptura		Módulo de Young	
	F	p	F	p	F	p
Replicas	1.22	0.306	0.19	0.826	0.34	0.713
Efectos principales	68.89	0.00	96.30	0.00	78.96	0.00
2- Interacciones	7.61	0.00	17.32	0.00	69.96	0.00
3-Interacciones	9.01	0.005	0.00	0.951	29.98	0.000
Error puro	0.41	0.951	0.53	0.894	0.43	0.000
<b>Coefficiente de Regresión (R<sup>2</sup>)</b>	<b>0.92</b>		<b>0.86</b>		<b>0.98</b>	

El análisis factorial realizado, muestra que los valores de R<sup>2</sup> obtenidos permiten realizar un ajuste de los resultados a la ecuación de predicción, ya que fueron superiores a 0.85 (Zambrano y col., 2011).

Por otro lado la tabla 9 muestra que en general las variaciones en los resultados no fueron debidos a las réplicas, ya que en todos los casos el valor de  $p$  es superior a 0.05, lo que implica que no existió un efecto significativo en relación a los experimentos realizados, sin embargo los factores estudiados; velocidad, fuerza aplicada, tipo de dispositivo y peso de pasta, si mostraron un efecto significativo individualmente y en las interacciones dobles y triples ( $p < 0.05$ ), por otro lado es importante resaltar que el error debido a la forma de realizar de los ensayos tampoco tuvo efecto significativo ya que el valor fue mayor a 0.05 ( $p \cong 0.951$ ).

En el caso de la energía de ruptura (dureza), el comportamiento de las réplicas y el error experimental tiene una respuesta similar a la firmeza, sin embargo en este caso sólo tienen efecto sobre las variables los factores individuales y sus interacciones dobles ( $p < 0.05$ ), no existiendo interacciones triples, esto debido a que la energía total es la representada como el área bajo la curva hasta el punto de ruptura.

El módulo de Young, representa la pendiente previa a la ruptura de la gráfica esfuerzo-deformación y es una relación de comportamiento elástico de la pasta y la influencia que tienen los factores analizados durante la experimentación. Sin embargo en este comportamiento tuvieron influencia respecto al error puro y que tiene que ver con la atribución de los factores que no se pueden controlar debidos a las características de la muestra y el tipo de dispositivo empleado para realizar los ensayos.

En la figura 22 se muestra el gráfico de Pareto correspondiente a la firmeza en función a los efectos estandarizados, mostrándose que el tipo de dispositivo empleado es un factor determinante en la carga de ruptura de pasta, seguida por la interacción entre el peso de la muestra y el dispositivo empleado. Aunque existen otros factores que igualmente tienen un efecto sobre la determinación, en este caso

se tomarán como los factores más importantes el dispositivo y el peso de la muestra con la finalidad de llevar a cabo la estandarización del método.

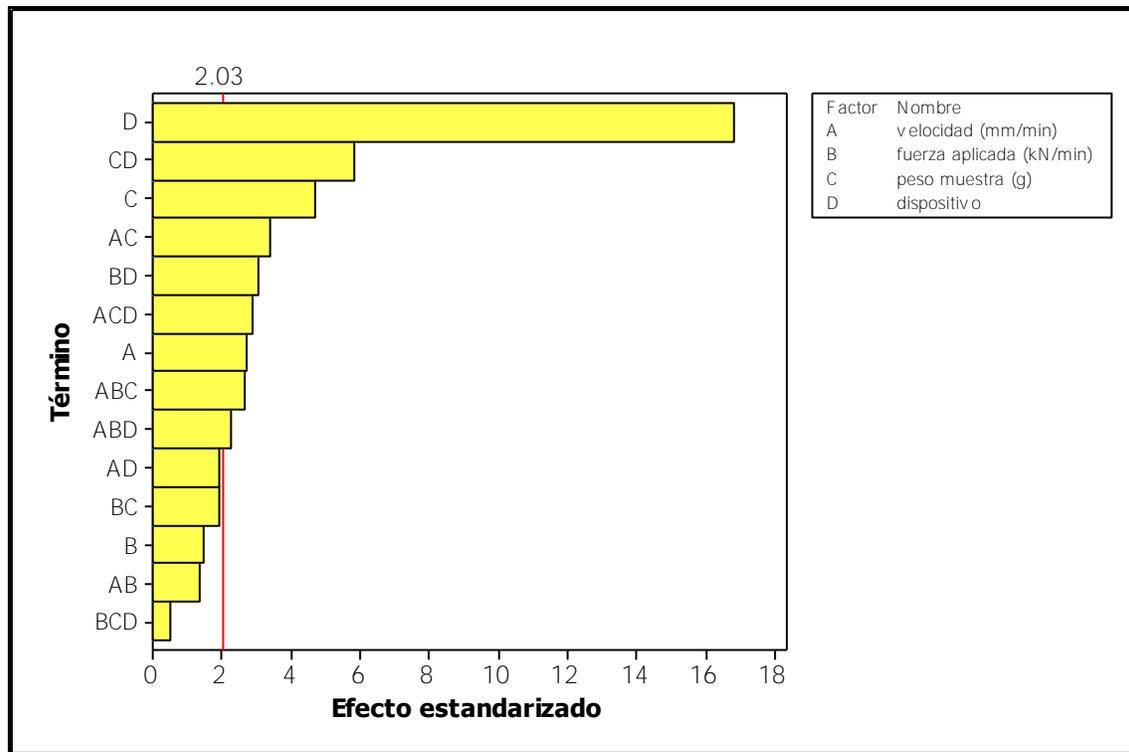


Figura 22: Gráfica de Pareto en función a la firmeza.

En la figura 23, se muestra el gráfico de cubos en función al tipo de dispositivo empleado para la evaluación de cambios en la fuerza de la firmeza, observándose que en relación a los factores analizados hay mayor efecto cuando se utiliza el dispositivo Ottawa, ya que como se muestra en la gráfica de cubos los valores van desde 354 N/g para la velocidad de 180 mm y disminuye a 156 cuando el peso de la muestra es de 20 g, razón por la que hay factores debidos al dispositivo que influyen en los resultados esperados, por lo que se establece que en los niveles estudiados hay diferencia estadísticamente significativa en función a las variables y resultados poco homogéneos cuando se emplea el dispositivo Ottawa, sin embargo cuando se trabaja con la celda Kramer la fuerza es distribuida a través del área de aplicación, por lo que la fuerza máxima registrada para este dispositivo varió desde

88 N/g a 52 N/g sin mostrar una variación significativa por efecto de la velocidad y la fuerza aplicada, con variaciones en función al peso de la muestra.

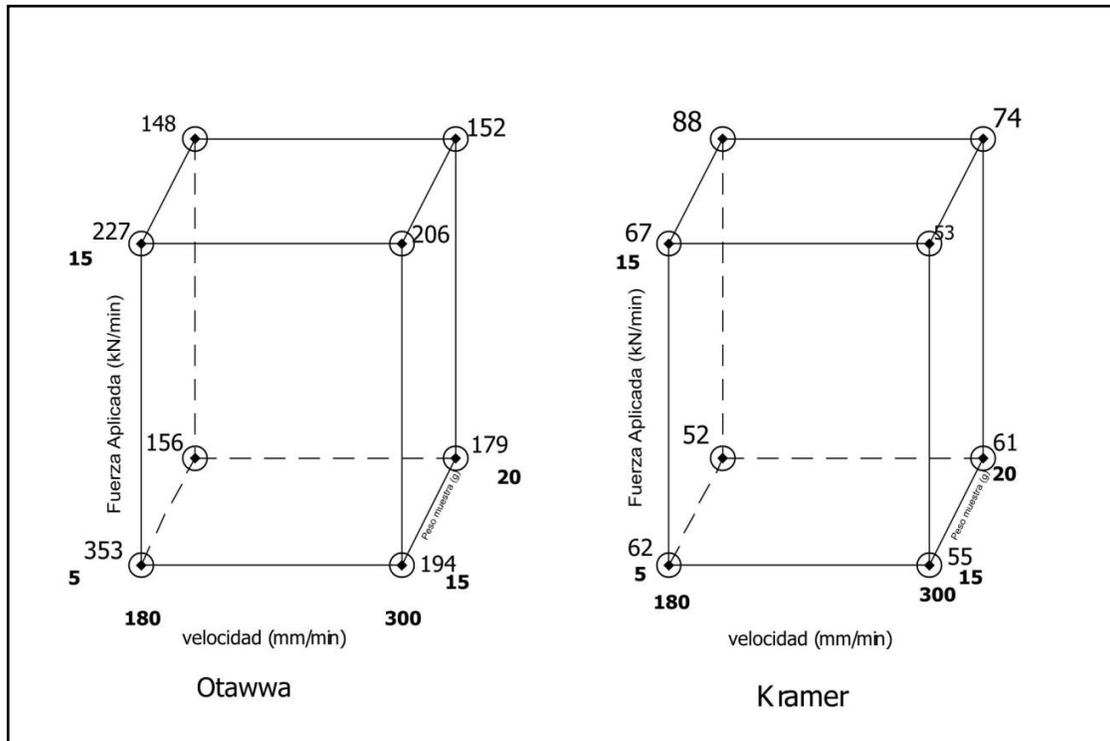


Figura 23: Gráficos de cubos para firmeza en función al tipo de dispositivo.

En la figura 24 por otro lado se muestra el gráfico de Pareto para la influencia de las variables sobre la energía de ruptura, esta energía es asociada a la resistencia opuesta por el material para ser deformada, por lo que se consideró un factor importante en la selección del tipo de dispositivo. Igual que en el caso de la firmeza el efecto que mayor influencia tiene sobre esta es el tipo de dispositivo, la interacción entre velocidad, fuerza aplicada y dispositivo, resaltando además las variables independientes velocidad y fuerza aplicada, mientras que el peso de la muestra no tiene un efecto significativo sobre la energía de ruptura, esto debido a que la fuerza se distribuye en función al área del dispositivo no influyendo en esta evaluación una variación de 5 g.

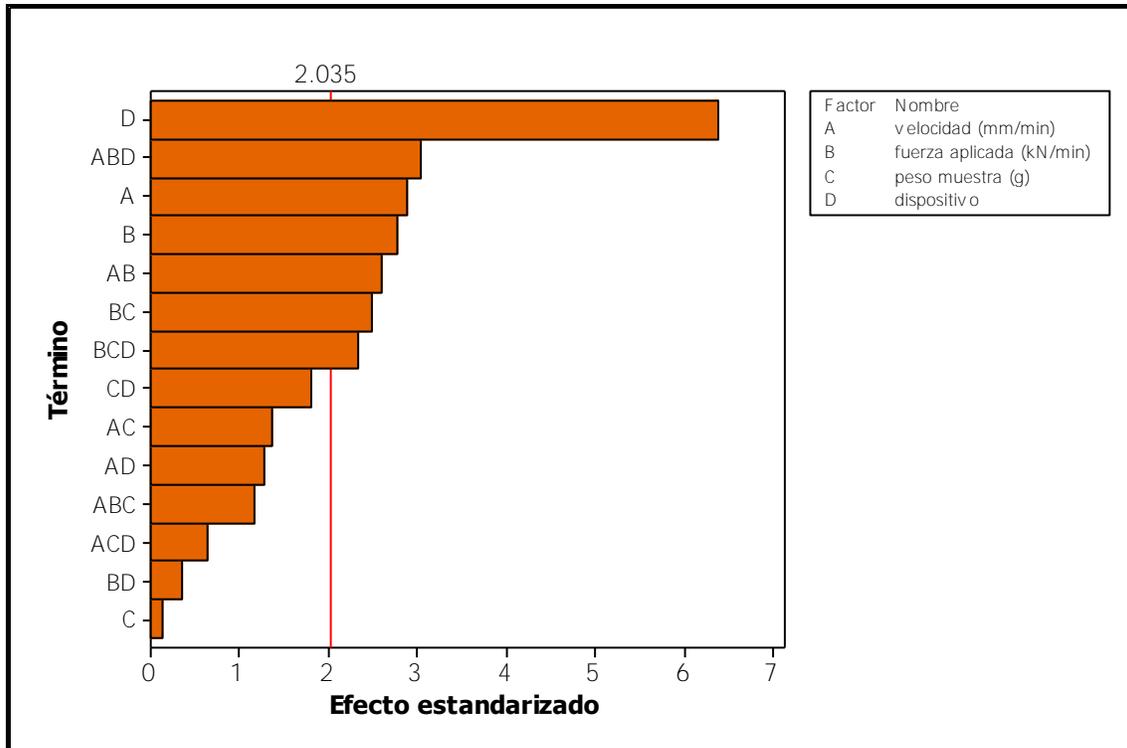


Figura 24: Gráficos de Pareto para la energía de ruptura.

La figura 25, muestra la variación en los resultados en función al tipo de dispositivo, mostrando al igual que para la firmeza, que la mayor variabilidad de los resultados es cuando se utiliza el dispositivo Ottawa, resaltando además que con este dispositivo se alcanza el menor nivel de detección, mostrando valores extremos que van desde 0.00 hasta 3.45 kN independientemente de los factores involucrados.

En la figura 26, se muestra el diagrama de Pareto correspondiente a la influencia de los factores sobre el módulo de Young, el factor de mayor influencia sobre esta evaluación es la velocidad a la cual se mueve la cruceta durante el ensayo, de acuerdo con Foegeding y col., en 2011, la respuesta del módulo es totalmente dependiente de la velocidad a la que se aplica la carga, ya que en materiales viscoelásticos como la pasta, después del periodo de linealidad, cuando se continua con la aplicación de la carga, la muestra presentará una región no lineal previo a la

fractura. Siendo esta dependiente de la velocidad o tiempo de procesos e indicativo de un fenómeno viscoelástico.

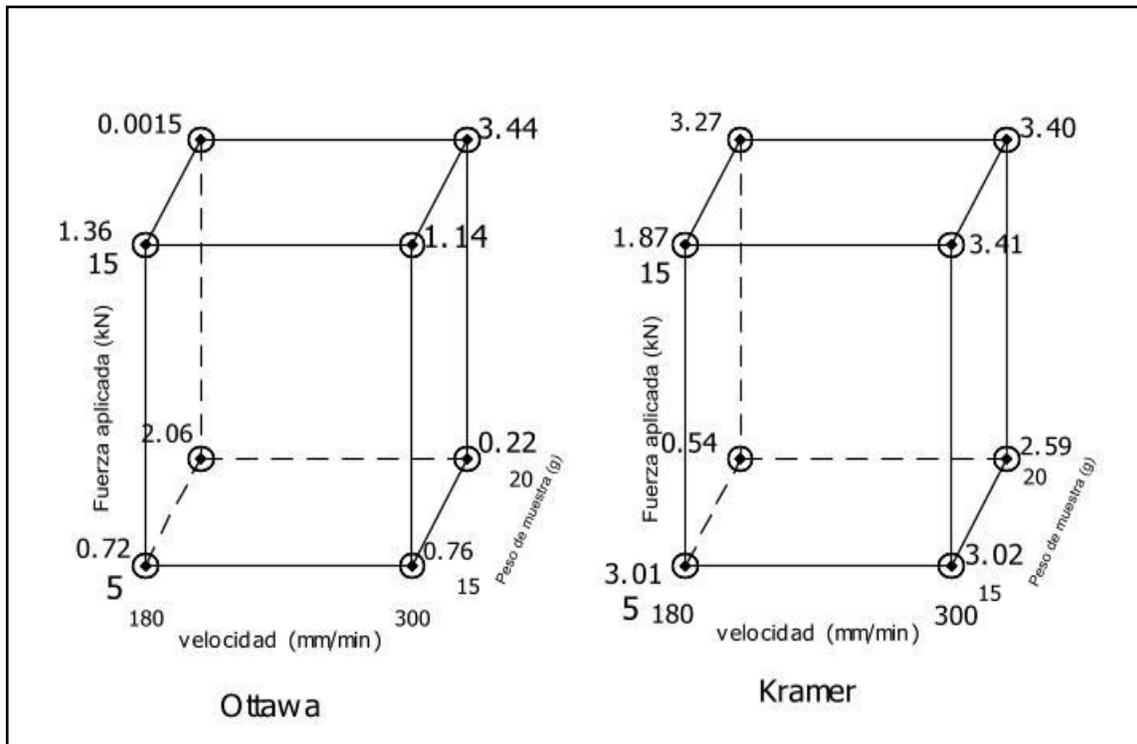


Figura 25: Distribución de energía de ruptura en función al dispositivo utilizado.

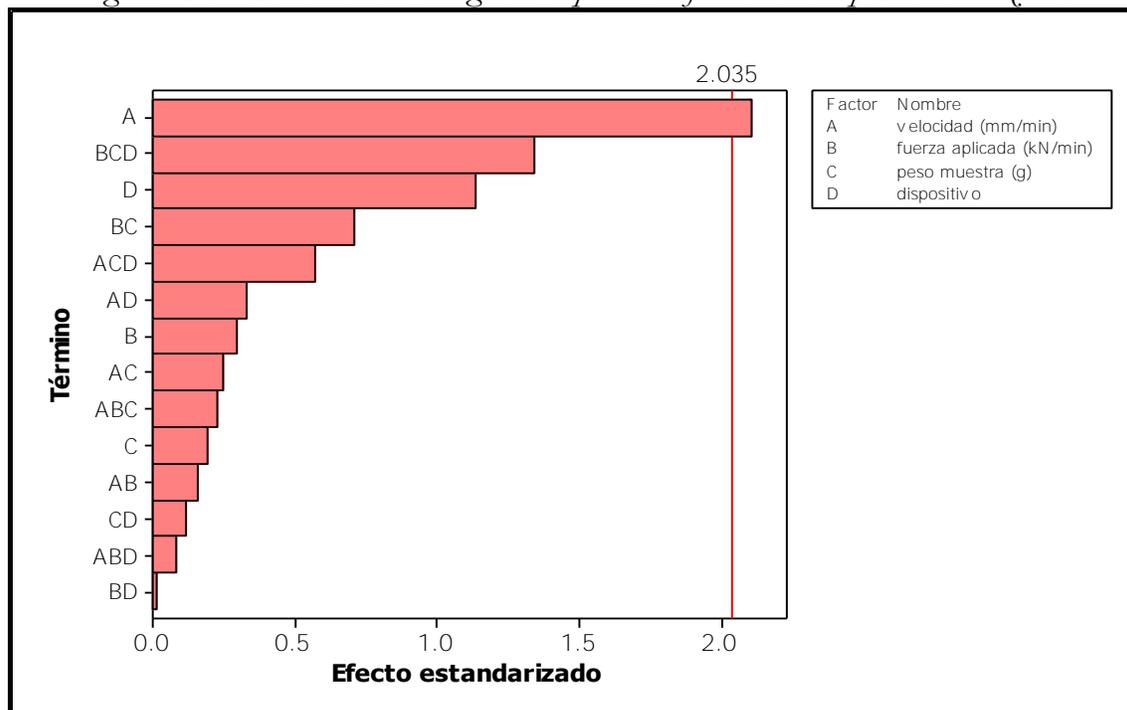


Figura 26: Diagrama de Pareto para módulo de Young.

Con la finalidad de explicar la influencia del tipo de dispositivo sobre el módulo de Young, como se realizó en las respuestas anteriores, se muestra el gráfico de cubos para el módulo en la figura 27, a pesar de que para este caso la variable de mayor influencia sea la velocidad. Observándose en esta figura que la mayor variabilidad en los resultados se muestra cuando se utiliza la celda Ottawa, mientras que para el caso de la celda Kramer la fuerza y la velocidad son inversamente proporcionales, así a mayor velocidad y menor fuerza aplicada el módulo detectado es mayor, lo mismo que para menor velocidad y fuerza aplicada. De acuerdo con Özkan en 2002 el módulo de elasticidad sería igual a 1 para materiales rígidos perfectos y está entre 0 y 1 para materiales elástico-plásticos por lo que la determinación de este parámetro es de utilidad en la evaluación de propiedades de los materiales alimenticios.

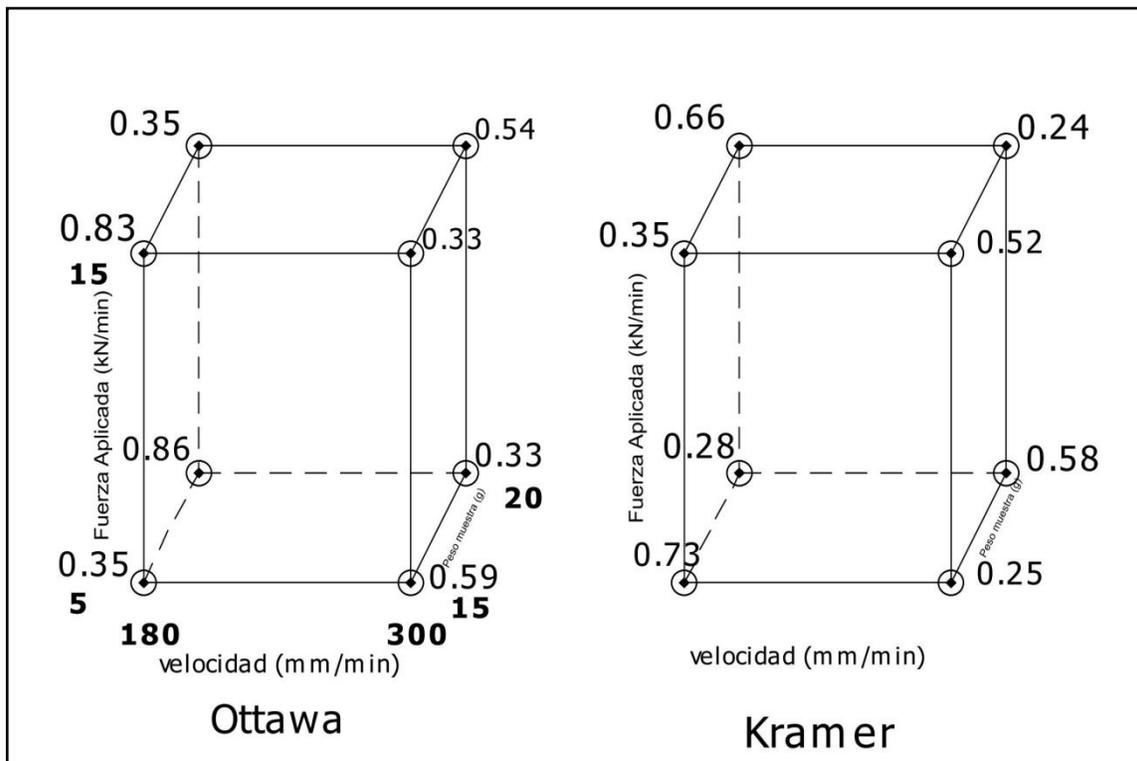


Figura 27: Relación al tipo de dispositivo empleado sobre el módulo de Young.

Finalmente y para resaltar la influencia de las variables y sus interacciones se construyeron los gráficos correspondientes considerando la interacción de las tres variables de respuesta principales (firmeza, energía de ruptura y módulo de Young) que se presentan en las figuras 28, 29 y 30.

En figura 28 se observa que el peso de la muestra y la velocidad del ensayo tienen una interacción que influirá considerablemente en la respuesta esperada, expresando que a mayor velocidad y menor peso, menor será la fuerza de ruptura del material.

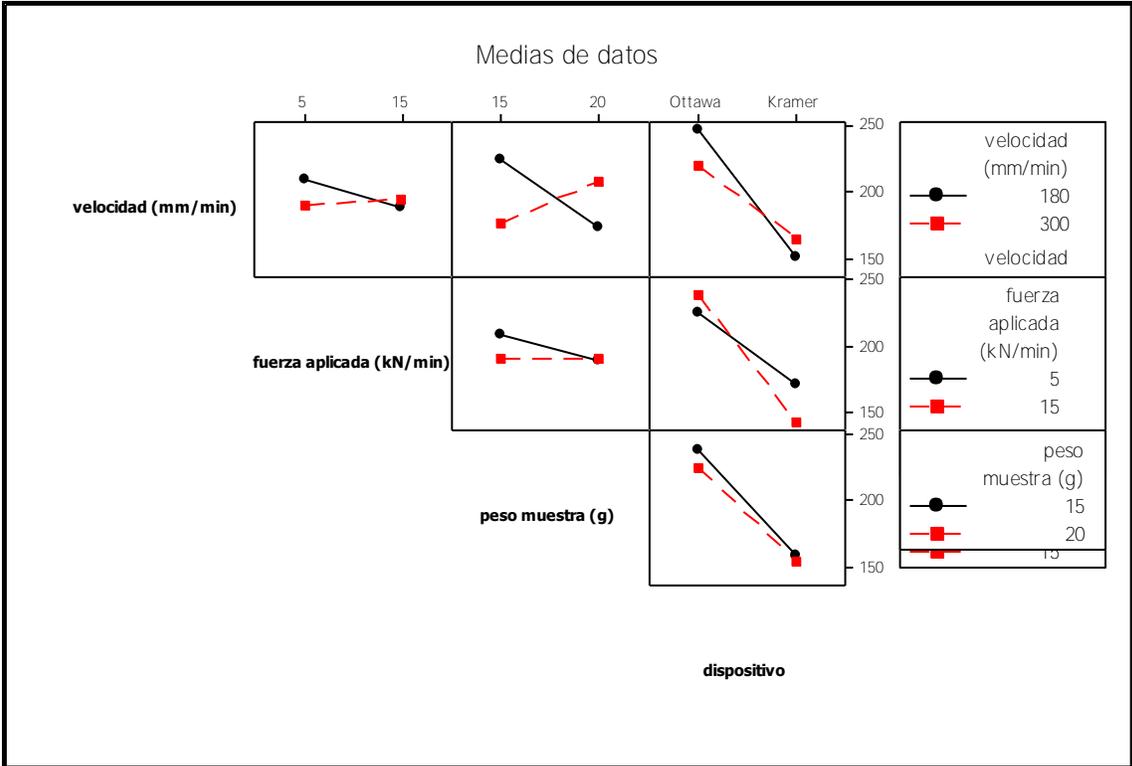


Figura 28: Interacción de las variables con respecto a la firmeza.

En la figura 29 se observa que para la energía de ruptura existe una mayor interacción entre el tipo de dispositivo y la velocidad, de igual manera entre la velocidad y el dispositivo, aunque se observa muy poca diferencia entre los niveles, y por otro lado entre el peso y el dispositivo, en ninguno de los dos niveles existe

interacción para la energía de compresión, por lo que se tomó la decisión basándose en los resultados obtenidos para la carga de compresión en este sentido.

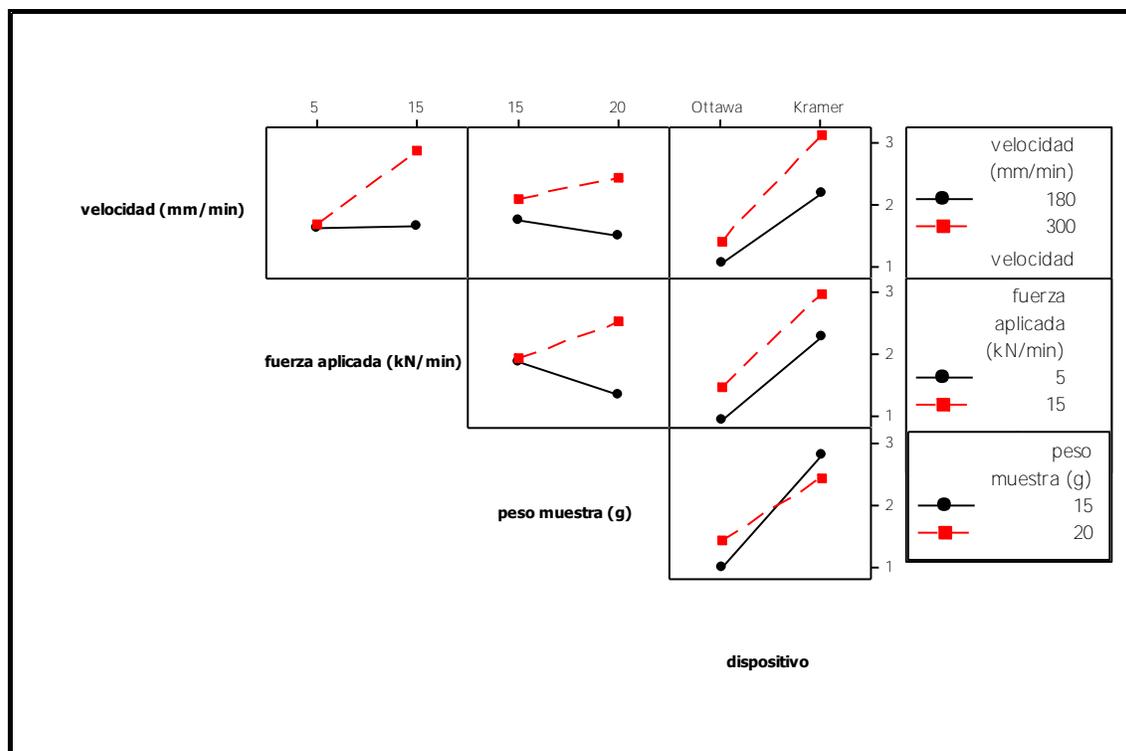


Figura 29: Interacción de las variables para la energía de ruptura.

En la figura 30, se ve claramente la interacción entre los factores analizados respecto al módulo de de Young, observándose que existe una interacción entre el dispositivo y el peso de la muestra y entre esta última y la fuerza aplicada, además de la interacción en relación a la fuerza aplicada y la velocidad que se mencionó en el análisis del gráfico de cubos correspondiente al módulo de Young.

Considerando de acuerdo al análisis realizado y a lo reportado por otros autores respecto al análisis de textura para pasta cocida, como Tudorica y col., (2002) que utilizan una velocidad de pre-ensayo de 180 mm/min, y una velocidad en el post-ensayo de 300 mm/min, en un analizador de textura TA.xT2, Mohamed y col.,

(2005) utilizando un texturómetro, también usan velocidades que van de 60 a 240 mm/min. al evaluar a noodles frescos.

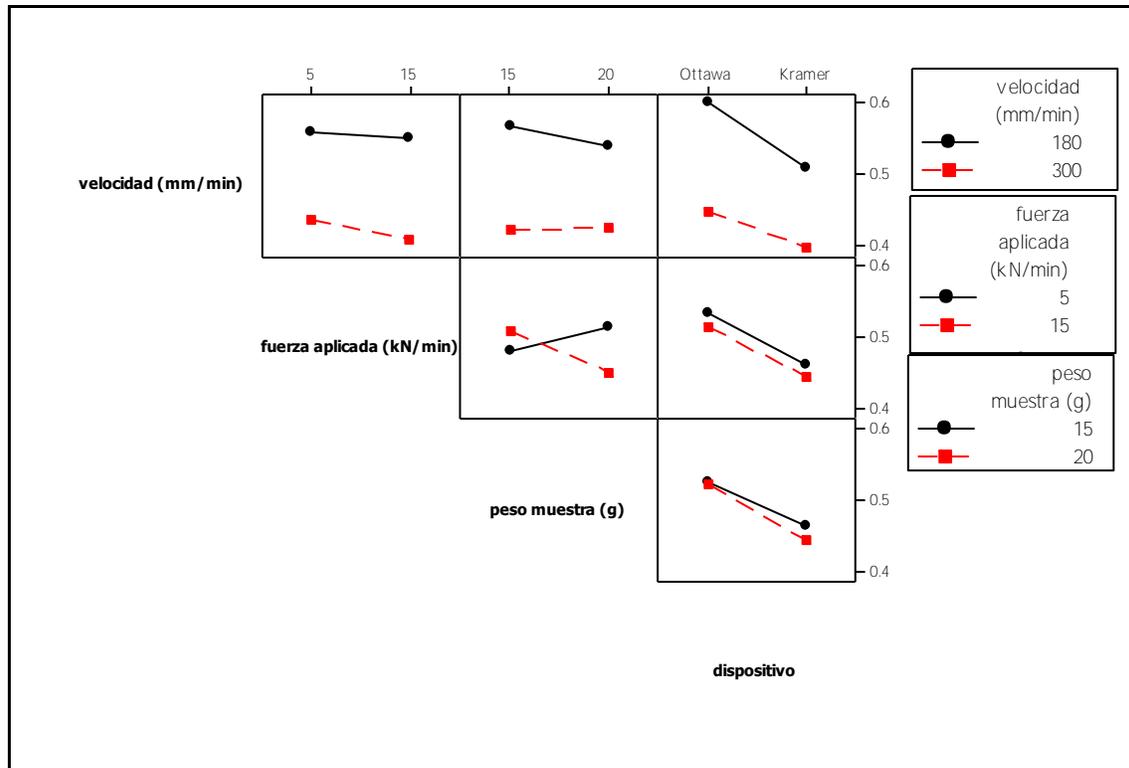


Figura 30: Interacción de las variables respecto al módulo de Young.

Con la finalidad de establecer las mejores condiciones para la realización del ensayo, se tomaron en cuenta los factores con efecto significativo, considerando la menor variabilidad de los resultados y procediéndose a optimizar la respuesta, utilizando para ello los datos experimentales y auxiliándose para su análisis de MINITAB 14<sup>®</sup> y la optimización de las respuestas considerando un objetivo en función a las medias de los tratamientos obtenidos de acuerdo con el diseño factorial empleado y obteniéndose las condiciones mostradas en la figura 31.

De acuerdo con lo anterior se analizó por separado a los dispositivos (Kramer y Ottawa) con el fin de observar con mayor claridad el efecto de las demás variables en cada nivel, logrando percibir que para ambos dispositivos a niveles altos de

carga (nivel 1), existe una mayor contribución, ya que los valores van de 0.23 a 0.05 y para los niveles bajos la menor variabilidad se da para el dispositivo celda Kramer y en estos a su vez se da una menor variabilidad con el peso a nivel 1 y la velocidad a nivel 2 (300 mm/min. y 15 g respectivamente) con un valor de 0.055 en comparación con los niveles contrarios con un valor de 0.06. Además al obtener los valores óptimos para el ensayo mostrados en la figura 31, se obtuvieron los siguientes valores: para la carga 5 kN, el peso de 15 g y la utilización del dispositivo celda Kramer, por lo tanto fueron los utilizados para los ensayos de evaluación de las propiedades mecánicas del objetivo 2.

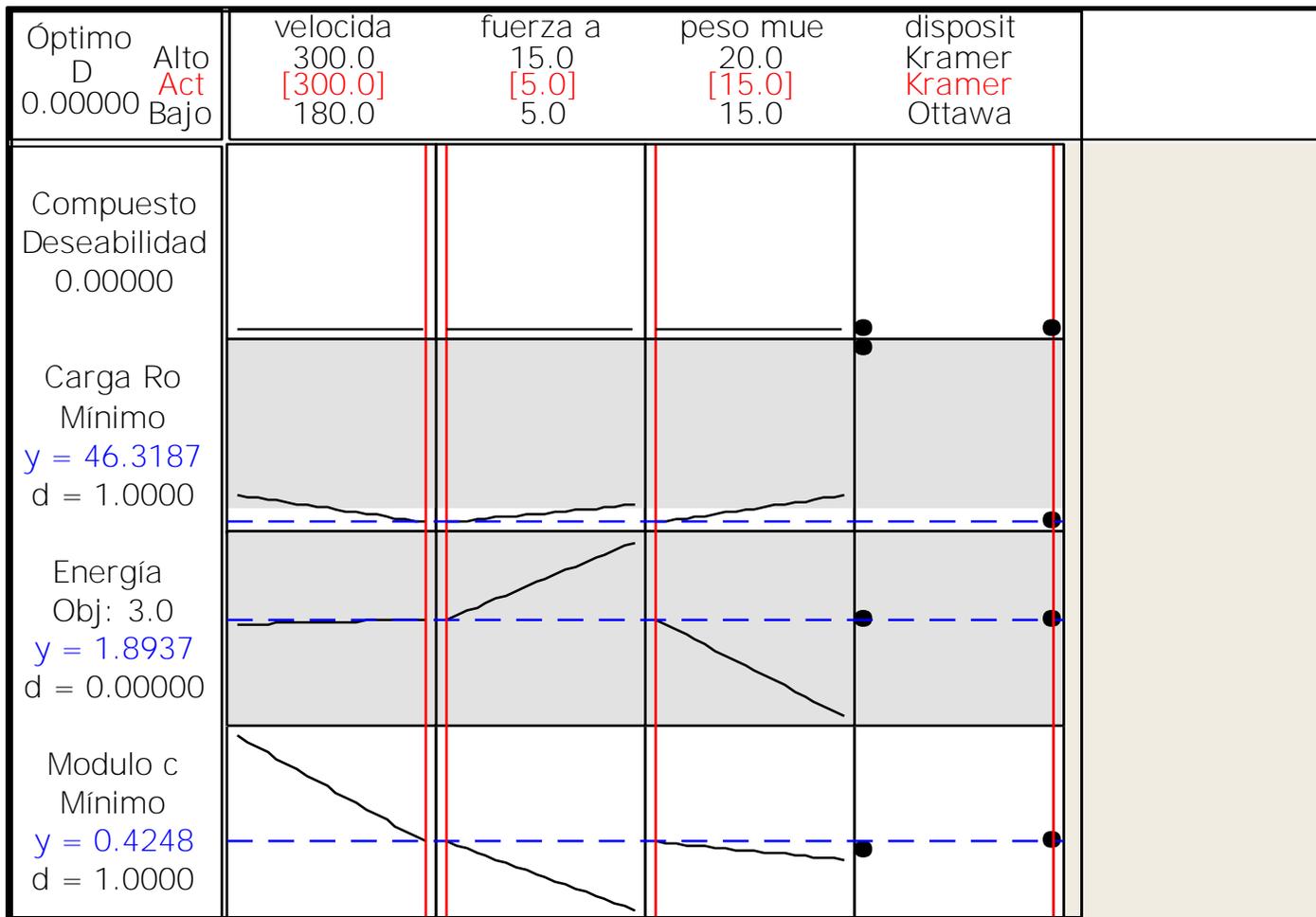


Figura 31: Optimización en función a las tres variables de respuesta seleccionadas.

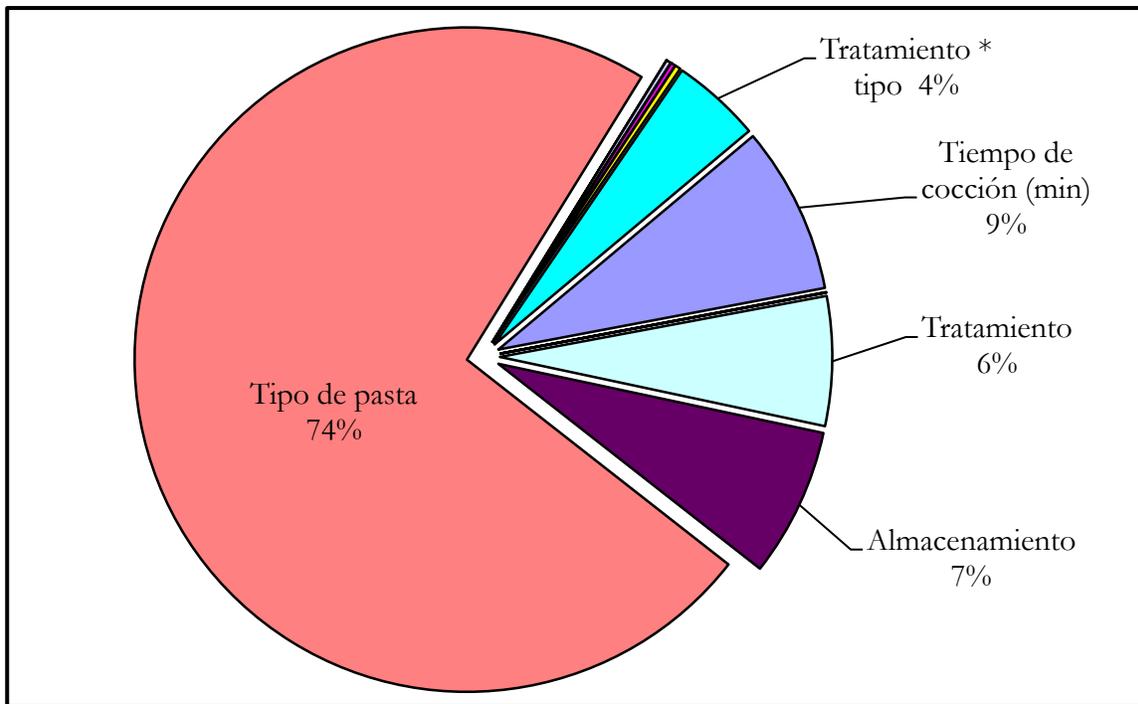
### 3.2. Resultados del diseño Taguchi

Con los valores obtenidos para la evaluación de las propiedades mecánicas de pasta de las dieciséis corridas experimentales correspondientes al diseño Taguchi, se obtuvo el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza con un nivel de significancia de 5 % con MINITAB 14<sup>®</sup>, obteniéndose las interacciones entre las variables así como el porcentaje de influencia de cada variable involucrada, sobre las respuestas analizadas, con el fin de realizar el análisis de los datos obtenidos para el ANOVA, se realizó en función a suma de cuadrados la determinación del % de contribución de las variables, a continuación se presentará el análisis para cada una.

#### ❖ *Firmeza de la pasta*

La firmeza, representa la fuerza utilizada para deformar a la pasta hasta la cizalla, en la figura 32 se muestra el comportamiento de la firmeza en función a las variables de mayor influencia, tiempo y almacenamiento, en relación con el tipo de pasta, considerando que fue la variable que tuvo mayor efecto sobre las respuestas analizadas, con un 74 % de contribución, seguida del tiempo de cocción con 9 %, el tiempo de almacenamiento y tratamiento con el 7 % y 6 % respectivamente, El almacenamiento en este caso tiene un mayor efecto, sin embargo las demás variables, no tienen un aparente efecto significativo.

Las principales diferencias establecidas estuvieron en función del tipo de pasta empleada, así para el caso de la pasta laminada (tallarín), la fuerza mínima aplicada fue de 3.72 y la máxima de 4.15 N/g; la pasta extrudida (fussilli) requirió una fuerza mínima de 8.59 y una máxima de 9.51 N/g, estableciéndose que las diferencias en el comportamiento es mayor al 45 %.



*Figura 32: Efecto de las variables sobre la firmeza.*

En la figura 33 se muestra el comportamiento de la respuesta en función a las variables con mayor influencia, se observa que los resultados muestran una menor dispersión y variabilidad, para la pasta laminada, no encontrándose diferencia significativa con respecto al tratamiento entre las sometidas a cocción por 9 min sin tratamiento y las muestras con tratamiento a 6 y 9 min de cocción con un valor promedio de 3.43 N/g. En el caso de las muestras extrudidas, la variabilidad de los resultados fue mayor observándose por el tamaño de las cajas en la figura 16 y la diferencia de los resultados, estableciéndose que en las muestras con mayor tiempo de cocción, disminuye considerablemente la fuerza de ruptura (firmeza), siendo la menor de 5.27 N/g correspondiendo a la pasta extrudida con tratamiento, tiempo de 9 minutos y 1 día de almacenamiento, mientras que la mayor es para tiempo de 6 minutos, con tratamiento y 2 días de almacenamiento.

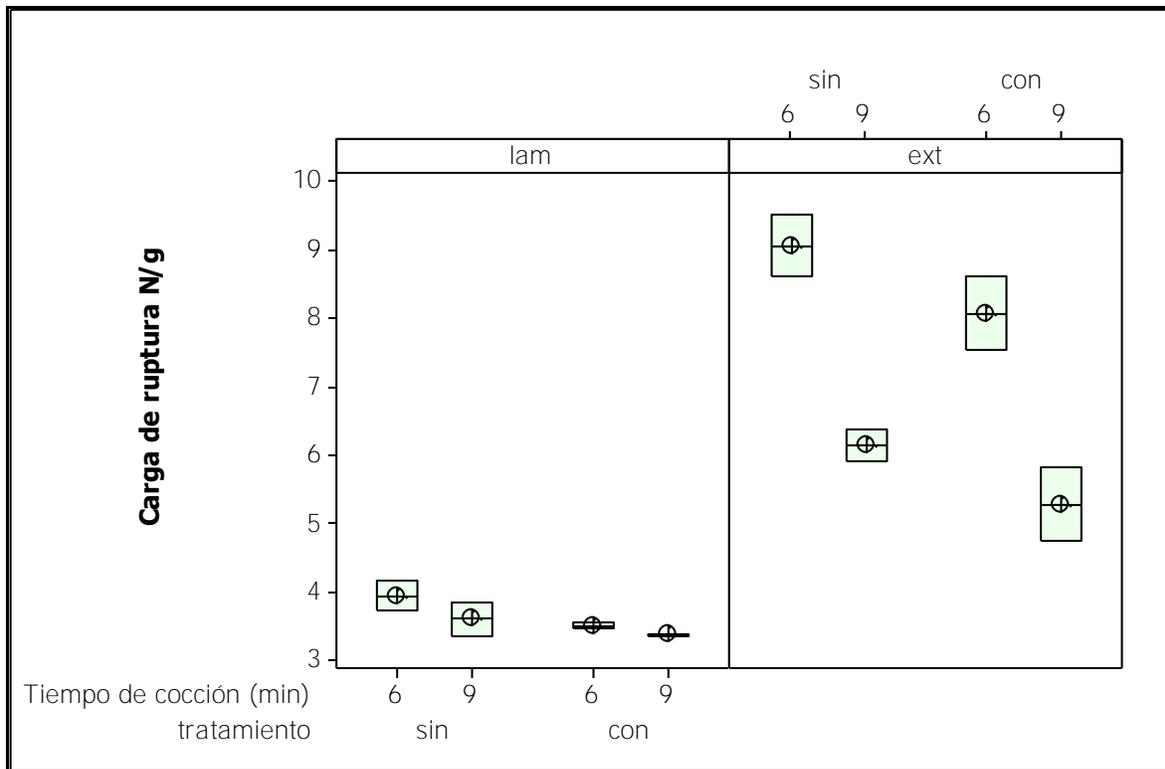


Figura 33: Firmeza respecto a las variables de mayor influencia.

Entre las muestras que tienen tratamiento (2 y 8) con dos días de refrigeración, tienen menor firmeza comparadas con las que no lo tuvieron (3 y 5) cocidas en 6 minutos, sucediendo lo mismo con las muestras que se cocieron a 9 minutos (12,14 y 9, 15 respectivamente) y con un día de almacenamiento y entre las muestras que tienen tratamiento las que tienen mayor firmeza, son a las que se les adicionó mayor concentración de sal; sucediendo lo contrario para las muestras sin tratamiento, las que presentan mayor firmeza, contienen 5 g/mL de sal. La concentración de sal puede afectar la gelatinización del almidón disminuyendo un poco el espesor del producto cocido ya que la sal limita la hinchazón de los granos de almidón, compitiendo con ellos por el agua, además la sal eleva la temperatura de gelatinización. Por otro lado la sal puede hacer a los granos de almidón más resistentes a la ruptura mecánica luego de que se han gelatinizado y aunque no se observa el efecto del uso de aceite, la consecuencia que podría tener esta variable

es el de lubricar el gluten en la pasta ya formada y permitir el deslizamiento sobre las otras más fácilmente.

Raina y col. (2005) trabajaron con las propiedades mecánicas de pastas elaboradas a partir de harina de arroz estudiando el efecto que tenían diferentes niveles de pre gelatinización de la harina sobre estas, así como la adición de gluten y gomas, utilizando una celda Kramer con ayuda de un analizador de textura a una velocidad de 20 mm/seg. durante la compresión con una celda de carga de 50 Kg y a temperatura de 26 - 28 °C, obteniendo por medio de gráficos de esfuerzo – deformación una fuerza máxima para pasta cruda de 424 N y 1.13 N para pasta cocida.

Existen varios trabajos en los que se han evaluado algunas propiedades mecánicas en pasta, principalmente la carga máxima de ruptura expresada como firmeza, sin embargo, existen varias diferencias en los equipos y en la forma de determinación como por ejemplo, el estudio realizado por Cuq y col. (2003) en el cual evaluaron los cambios en las propiedades mecánicas en pasta fresca en función a su contenido de agua, utilizando un analizador de textura adaptado con una hoja de corte para cortar 5 hebras de spaghetti a una velocidad de 0.1 mm/s determinando la fuerza aparente de deformación. Mohamed y col. (2005) trabajó con noodles para aumentar la fibra soluble de estos, determinando propiedades texturales utilizando un analizador de textura con un plato de 5 mm, llevando a cabo ensayos de compresión al 70% a una velocidad de 4 mm/s, reportando la dureza de los noodles control. Y más recientemente Khouryieh y col. (2006) obtuvieron valores de dureza de 3.98 a 7.004 N para hojas de noodles de 5x5 cm, elaborados con sémola y harina de trigo, con sustitución del huevo por pasta power y harina de soya para eliminar colesterol, por medio de un analizador de textura con una celda de carga de 25 kg y una velocidad de ensayo de 0.2 mm/s.

Samaan J y col. (2006) llevaron a cabo un estudio con pasta elaborada a partir de trigo duro, consideraron diferentes fuentes de este, realizando ensayos de resistencia y reológicas en el desarrollo del producto, así como pruebas de cocción en la pasta, reportando la firmeza de las mismas de 2.9 a 4.1 g cm<sup>-1</sup>, concluyendo que el mayor efecto sobre las características de calidad es debido al genotipo de trigo duro y además de considerar la sustitución de ingredientes, condiciones de proceso y contenido de proteína.

Los resultados obtenidos para esta propiedad, son similares a otros trabajos realizados en pasta como el de Brennan y col. (2004) donde analizaron el efecto sobre las propiedades de textura entre otras, sobre la adición de la fibra inulina a diferentes concentraciones en pasta, utilizando un texturómetro y una celda de carga de 25 Kg. Usando un equipo de celda de corte y obteniendo una firmeza de 1.61 N para la pasta control. Malcomson y col. (1993) obtuvo valores de firmeza en pasta cocida en su punto de 4.7 a 5.7 N y en pasta sobre cocida de 3.3 a 4.6 N en una máquina Instron equipada con una celda de carga de compresión, utilizando una fuerza de compresión de 8 N. Debouz y Doetkoff (1996) utilizó pasta deshidratada y cocida, midió la firmeza del spaghetti con 2 hebras utilizando un diente de *plexiglass* especialmente diseñado y fijado a un analizador de textura, sus resultados van de 2.28 a 7.2 N dependiendo de las variables de proceso que utilizaron, como el tiempo de mezclado, temperatura del agua de mezcla y grado de humedad. Tudorica y col (2002) estudiaron el efecto de la adición de diferentes fibras (inulina, goma guaracaro y fibra de arveja) en pasta sobre su calidad de cocción, estructura, textura y digestibilidad del almidón, utilizando muestras de spaghetti frescas y congeladas a -40 °C hasta el momento de los ensayos, un tiempo de cocción óptimo (tiempo necesario para obtener una gelatinización completa de almidón) de 7 min. y evaluaron la textura con un

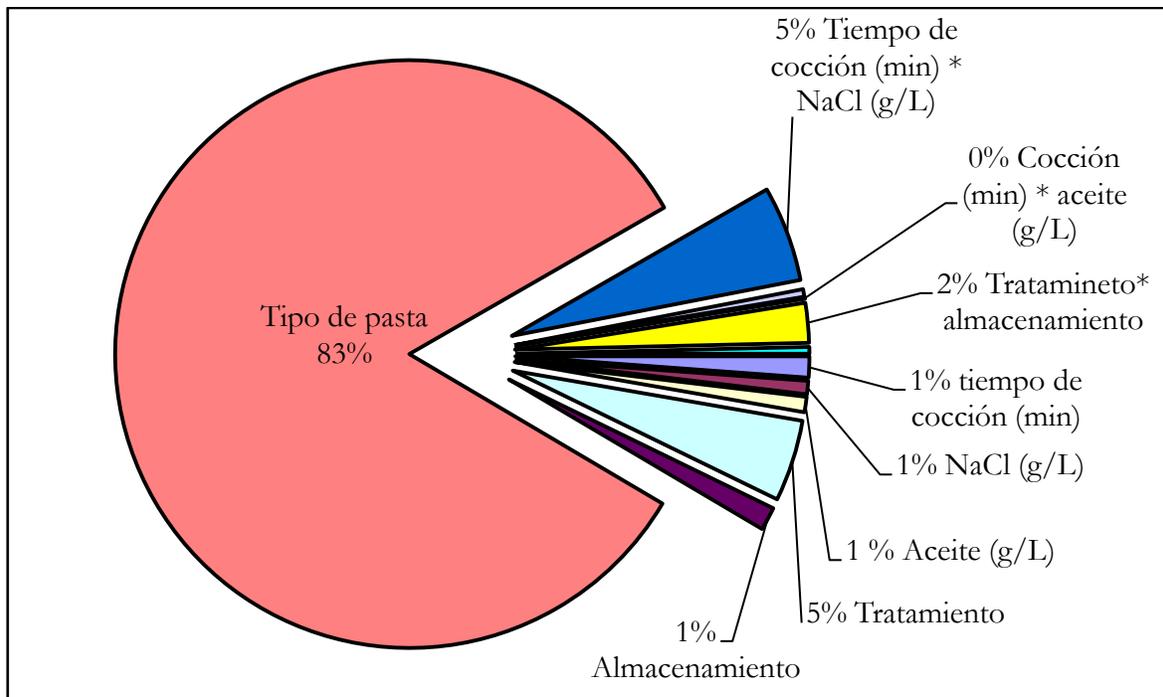
analizador de textura TAXT2 celda de carga de 25 Kg y velocidad de pre-ensayo de 3 mm/s y de post-ensayo de 5 mm/s. La firmeza fue medida como fuerza máxima de cizallamiento para la ruptura de una hebra de spaghetti usando una celda Kramer, encontrando que para la pasta control la dureza o firmeza obtenida fue de 1.01 N.

Como se observa los resultados son similares y comparables con los estudios anteriores, sin embargo las diferencias se pueden atribuir claramente a los diferentes métodos utilizados, cantidad de muestra, tipo de pasta y proceso de elaboración, celdas de carga, velocidades de ensayo y equipos.

#### ❖ *Energía en el área borde.*

Esta representa el área de la línea esfuerzo vs deformación y representa la energía almacenada en el producto, que se opone a la cizalla. En la figura 34, se muestra la variación de los resultados, en la energía de ruptura en relación con la fuente de variación, observándose que el tiempo de cocción, adición de aceite, tratamiento y tipo de pasta son las variables de mayor influencia.

Con el fin de establecer cuál es el efecto de cada una de las variables, se realizó con base en el análisis de varianza de los resultados la evaluación del efecto de cada una de las variables, mostrándose así en la figura 34 el porcentaje de contribución de las variables sobre la energía en el área borde, se tiene que después de la influencia del tipo de pasta, la variable de mayor influencia sobre el comportamiento es la interacción entre la adición de NaCl y aceite con 6 % de contribución.



*Figura 34: Contribución de variables sobre la energía en el área de borde.*

En la figura 35 se muestra el comportamiento de la energía en el área borde respecto a las variables de mayor influencia, al igual que en el caso de la firmeza, los menores efectos se presentan sobre la pasta laminada, no existiendo diferencia significativa con relación al tiempo de cocción, atribuyéndose las diferencias al tratamiento de enfriamiento con agua al que se sometió la pasta después de la cocción.

La menor variación, dada la compactación de los resultados, corresponde la pasta laminada con tratamiento presentando una energía promedio de 2.29 N/mm. En cuanto a la pasta extrudida, la mayor energía en el área borde corresponde a la pasta sin tratamiento, independientemente viéndose influenciada por el tiempo de cocción, con un promedio de 5.31 N/mm, siendo esta mayor en 18.16 % con respecto a las sometidas a tratamiento de enfriamiento.

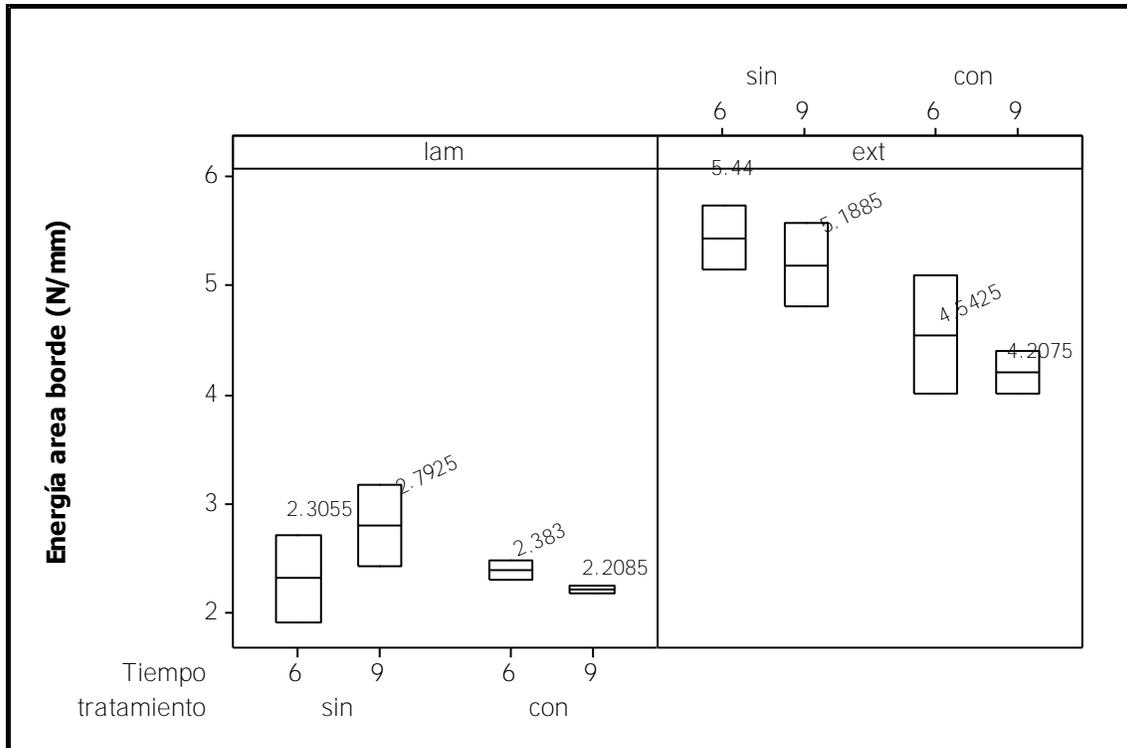


Figura 35: Variación en la respuesta por efecto de los factores de mayor importancia.

Los resultados son comparables con los obtenidos por Malcomson en 1993, donde reporta una energía de compresión para spaghetti cocido en su punto de 2.0 a 2.4 N/mm y sobrecosido de 2.7 a 3.4 N/mm y en un trabajo más reciente, el de Tudorica y col. (2002) mencionado anteriormente, donde lleva a cabo un ensayo de compresión en función al tiempo, obtiene un área bajo la curva que define como la energía necesaria para la cizalladura de la pasta cocida de 9.46 N/s con una celda Kramer. La diferencia entre los resultados anteriores se puede explicar debido a las diferentes condiciones de ensayo de cada trabajo, en el presente se utilizó un ensayo de compresión - extrusión en función al desplazamiento con pasta deshidratada y almacenada en refrigeración y en el trabajo de Tudorica y col. (2002), se utilizó spaghetti fresco congelado y posteriormente cocido al momento de su ensayo, utilizando como muestra una sola hebra de este.

#### ❖ *Energía de ruptura*

La energía de ruptura representa la energía total que se requiere para que la muestra llegue a la fractura o hasta donde esta empieza a cizallar, es obtenida calculando el área bajo la curva hasta la carga de ruptura. En la figura 36 se observa claramente que la variable, tipo de pasta, es la que afecta en gran medida el comportamiento de la energía de ruptura en la pasta, dejando en segundo lugar a la variable del tratamiento; es decir al aplicarle el enfriamiento rápido por medio del enjuague con agua fría, seguida muy de cerca por interacción entre la variable tiempo de cocción y NaCl y que la influencia del tiempo de almacenamiento en refrigeración, el uso de aceite o no en la cocción de la pasta y la concentración de sal en el agua de cocción sobre la misma propiedad mecánica (la energía de rotura) en comparación con las variables anteriores, quedan de lado siendo estas muy insignificantes; pero no por esto menos importantes, ya que no se puede asegurar hasta realizar una experimentación utilizando únicamente estas últimas variables.

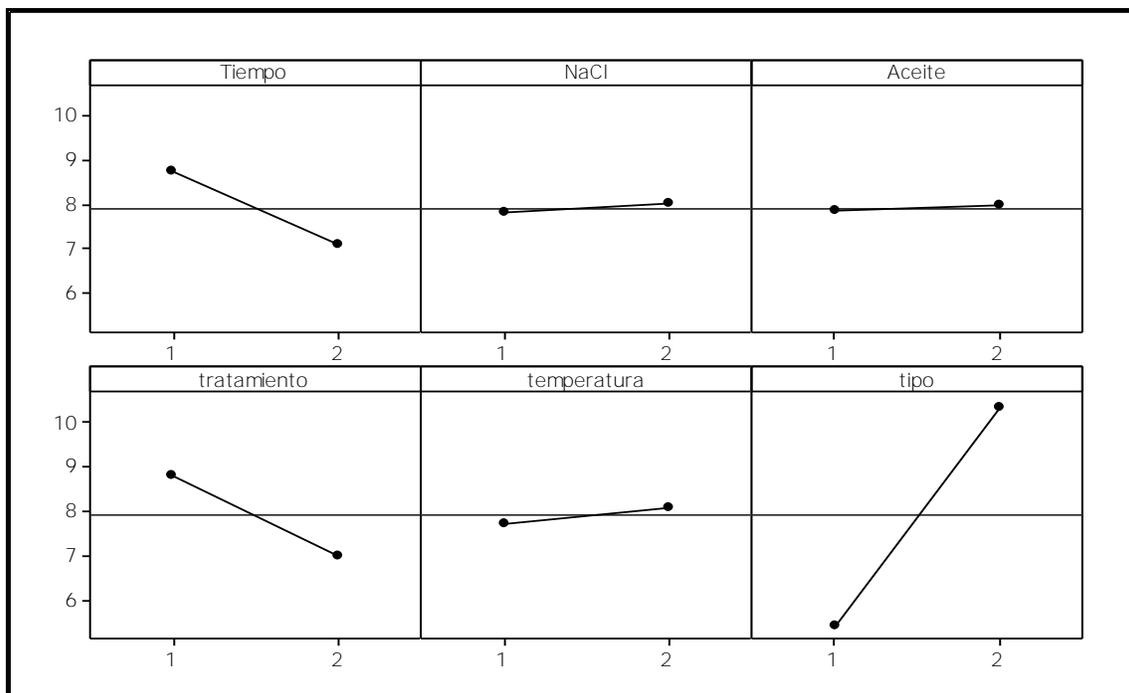


Figura 36: Interacción de las variables sobre energía de ruptura.



Los datos obtenidos de energía de ruptura que van de 0.7 a 1.5 J son comparables con el estudio realizado por Raina 2005, (0.6 a 0.7 J) obteniendo el mismo resultado para pastas tipo laminadas ya que aunque en este estudio realizaron el ensayo con una velocidad de 20 mm/s, esta pasta que requiere menor fuerza de cizalla es comparable con la energía requerida para cizallar una pasta elaborada con harina de arroz pre gelatinizado a esa velocidad, y en el estudio que realizamos se obtuvo una mayor variación debido a que los niveles utilizados para el diseño fueron mayores y con otras condiciones.

### ❖ *Módulo de Young*

En esta propiedad conforme a la figura 38, obtenida por la suma cuadrada del error, se observa una mayor distribución en la contribución de las variables, es decir, que en esta propiedad se observa casi el mismo porcentaje de contribución de las variables de tiempo de cocción, tipo de pasta y si se llevo a cabo o no el tratamiento con agua fría, posteriormente con un 3% de contribución la interacción entre la cocción – tipo, cocción - aceite, tratamiento – tipo y un 2% en la variable del NaCl, es la única propiedad en donde la sal tiene un porcentaje de contribución visible, esto se atribuye a que el módulo de cizalla se calcula a través de la pendiente de los gráficos de esfuerzo – deformación hasta la fuerza de cizalla de cada uno, por lo tanto el efecto del tipo de pasta no fue la principal variable de contribución y se pudo observar un poco el efecto del NaCl.

Para la energía en el módulo se observa en la figura 39, que al igual que en los demás ensayos el mayor efecto es debido al tipo de pasta, seguida del tratamiento y la cocción, de manera general, que como se observo en las tres principales variables son las que tienen mayor influencia sobre las propiedades mecánicas evaluadas, siguiendo el diseño experimental propuesto.

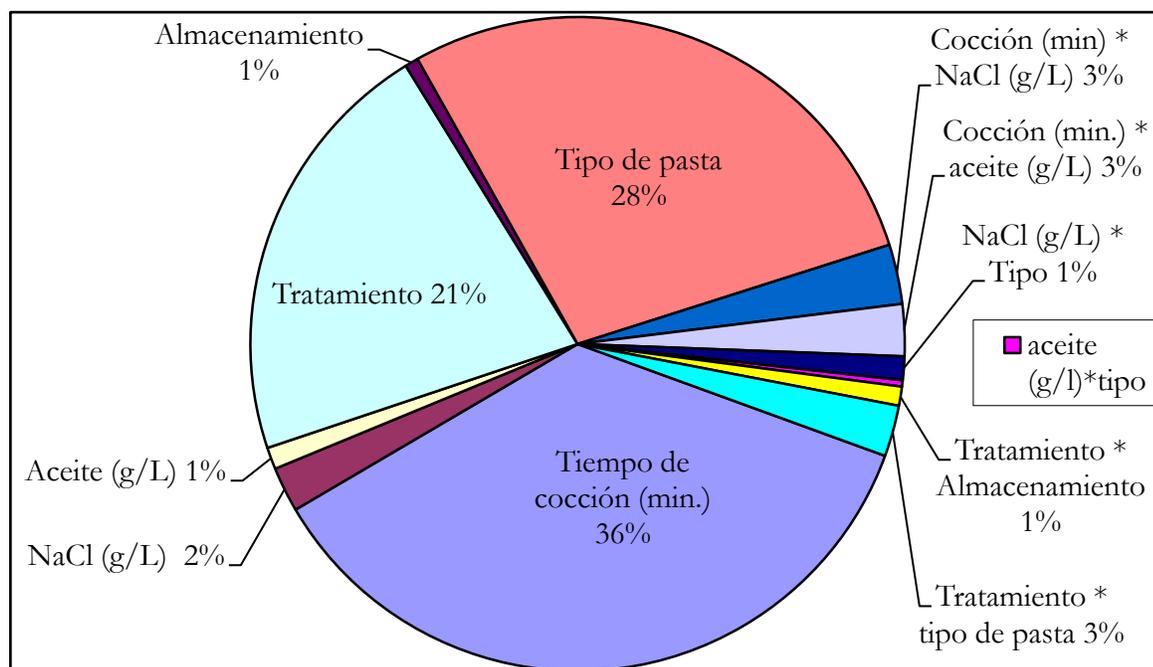
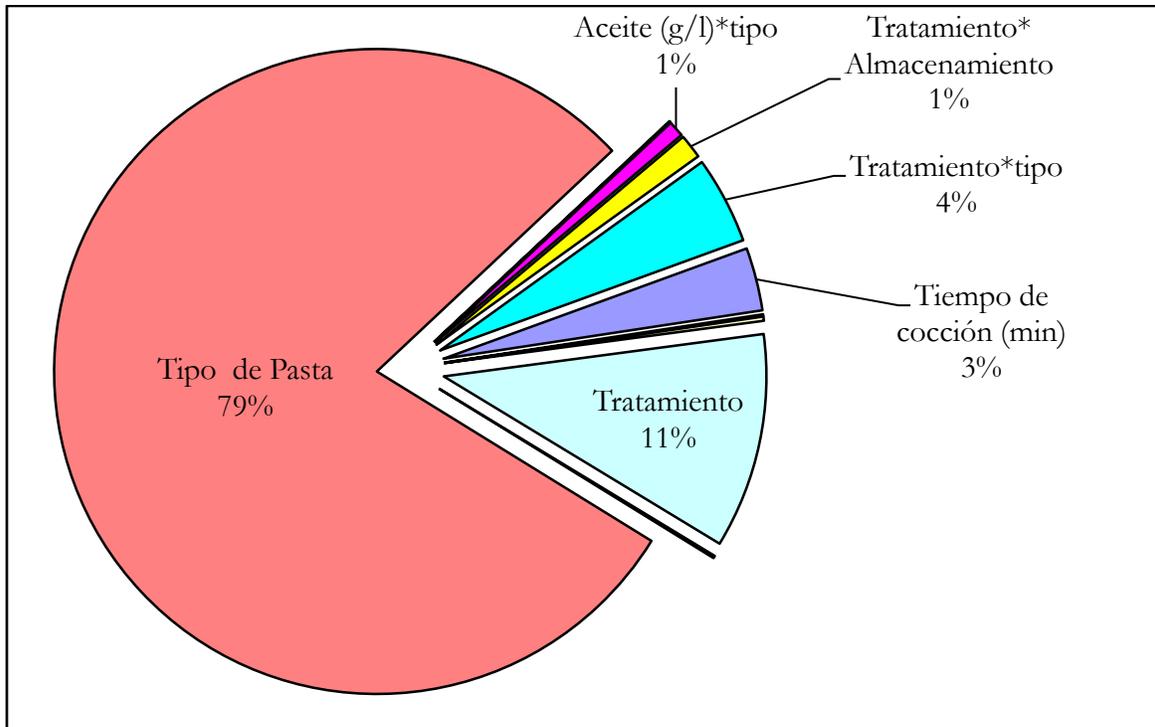


Figura 38: Efecto de las variables en el módulo de Young.

### ❖ *Energía al módulo*

Se observa en la figura 39 que el tratamiento contribuye en un 11 % al comportamiento de la energía de ruptura en las muestras, lo que es atribuible a que durante el enfriamiento con agua, gran parte del almidón que se encuentra en la superficie de la pasta se elimina y disminuye la adhesión de las moléculas superficiales, teniendo con ello un mayor efecto durante la evaluación de la modificación del módulo de cizalla, reflejado en la energía almacenada hasta el mismo.

En la pasta laminada, las diferencias no son muy notorias en comparación con la pasta extrudida, pero siguen el mismo patrón de comportamiento que las extrudidas, esto se puede atribuir a que en este caso el área expuesta de la pasta es menor en comparación con la extruida, por consiguiente el efecto que presentan las variables estudiadas no es el mismo.



*Figura 39: Efecto de las variables sobre la energía al módulo.*

En la figura 40 se observa, el comportamiento de la energía en el módulo separando el tipo de pasta y evaluando el comportamiento en función al tiempo y tratamiento (con y sin enfriamiento), las muestras siguen el mismo comportamiento, sin embargo las diferencias en el módulo son mayores para la pasta laminada independientemente del tratamiento al que se someten las muestras, esto debido a que el área superficial es mayor para este tipo de pasta. En el caso de la pasta extrudida no existe diferencia con respecto al tiempo de cocción, sin embargo la energía al módulo es menor para aquellas muestras que se sometieron a tratamiento.

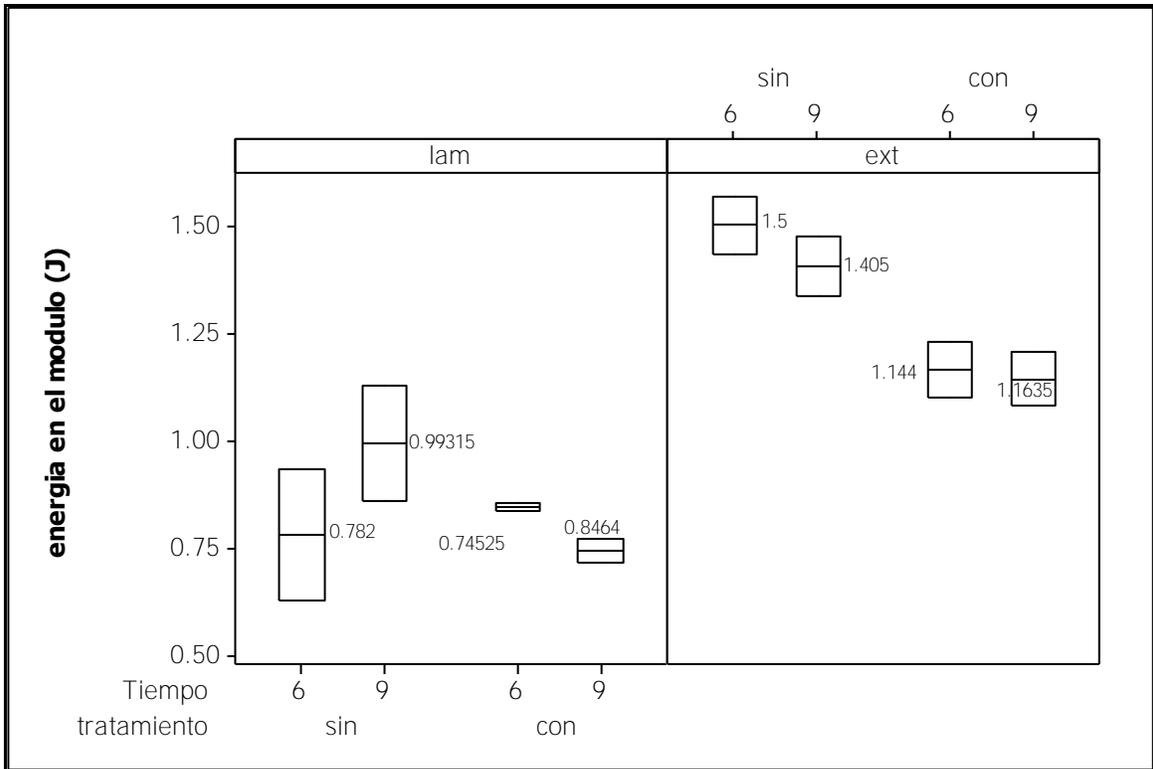


Figura 40: Efecto de las variables sobre la energía en el módulo.

## CONCLUSIONES

- ❖ La variable que influyó determinantemente en las propiedades mecánicas de la pasta fue principalmente el tipo de pasta, atribuible principalmente a que estas no tienen la misma estructura ni área de exposición, aunque si la misma composición.
- ❖ Para la pasta laminada, las variables de respuesta tienen poco efecto y no se observa una tendencia clara, sin embargo para la pasta extruida los cambios en las variables son sumamente notorios.
- ❖ Se concluye que el tiempo de cocción de 9 minutos y el almacenamiento de 48 h, disminuyen las propiedades mecánicas, el tratamiento ejerce una influencia sobre la firmeza y energía de ruptura disminuyéndolas.
- ❖ La metodología experimental ortogonal Taguchi  $L_{16} 2^6$  seguida, si proporciona resultados confiables, repetibles y reproducibles, es muy eficaz para llevar a cabo el control de muchos factores simultáneamente y tener la capacidad de extraer información cuantitativa a partir del menor número posible de ensayos experimentales.
- ❖ Las condiciones de cocción que mantienen mejor la textura de estas pastas respecto a la inicial, fue un tiempo de cocción de 6 minutos con adición de sal de 10g/L, un almacenamiento en refrigeración máximo de 24 h
- ❖ El tratamiento de enjuague con agua de las pastas después de su cocción disminuye la firmeza y la energía en el área de borde de éstas.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Este trabajo puede ser de gran ayuda para apoyar a estudiantes o empresas en la caracterización de las propiedades mecánicas de pasta, mediante la utilización de equipos universales de medición de textura, con las condiciones de estandarización obtenidas y el uso de la metodología experimental Taguchi.
- ❖ Respecto al equipo, últimamente se han hecho ya muchas determinaciones para alimentos; sin embargo su uso se encuentra más amplio para la medida de propiedades mecánicas en materiales sólidos inertes, por lo que es necesario seguir realizando caracterizaciones con diferentes tipos de alimentos, para la determinación de la metodología a utilizar.
- ❖ Realizar el estudio eliminando la variable tipo de pasta, para observar con claridad el efecto de las demás variables.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecasis, L., Abbou, R., Chaurand, M., Morel, M., y Vernoux, P. (1994). Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder on pasta quality. *Cereal Chemistry*, 71(3), 247-53.
- Alireza, S., M., y Bhagya, S. (2008). Quality characterization of pasta enriched with mustard proteini solate. *Journal of Food Science*, 73(5), S229-S237.
- Alvarado, J. y Aguilera, J.,. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Acribia, Zaragoza España.
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Dexter, J. E., y Woods, S. M. (1999). Effect of enviroment and genotype on durum wheat gluten strength and pasta viscoelasticity. *Cereal Chemistry*, 76(4), 582-6.
- Andon, S. A. (1987). Applications of soluble dietary fibre. *Food Technology*, 41(1), 74-4.
- Anonimo, (1995). *Cocina de las pastas*. Madrid España: Agata.
- Antognelli, C., (1980). The manufacture and applications of pasta as a food and as a food ingredient: a review. *Journal Food Technology*, 15: 121-145.
- Anzaldúa, M. A., (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica*. Acribia, Zaragoza España.
- Autran , J. C., Abecassis, J., y Feillet, P. (1986). Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chemistry*, 63(5), 390-94.
- Bitrán, C., y Soto, N. (1973). *Estudio bromatológico de pastas alimenticias elaboradas por industrias nacionales*. Universidad de Chile, Departamento de ciencias de los alimentos y tecnología química. Santiago de Chile: Facultad de ciencias químicas y farmaceuticas.
- Borneo, R., y Aguirre, A. (2008). Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. *LWT – Food Science and Technology*, 41(10), 1748-1751.
- Brennan, C. S., Kuri, V., y Tudorica, C. M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural proprieties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86, 189-193.
- Carini, E., Curti, E., Cassotta, F., Najm, N. E., y Vittadini, E. (2013). Physico-chemical properties of read to eat, shelf-stable pasta during storage. Article in press.

- Castro, M. E., y Hombre M. R. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los Alimentos*. Universidad de Chile, I. D. Alimenticia. La Habana, Cuba.
- Chiralt, A., Martínez, N. González, C., Talens, P., Morgan, G., (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cleary, L., y Brennan, C. (2006). The influence of a (1 → 3)(1 → 4)-β-D-glucan rich fraction from barley on the physico-chemical properties and in vitro reducing sugars release of durum wheat pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(8), 910-918.
- Cole, M. E. (1991). Review: prediction and measurement of pasta quality. *International Journal Food Science Technology*, 26(2), 133-51.
- Cuq, B., Goncalves, F., Mass, J. F., Vareille, L., y Abecasis, J. (2003). Effects of moisture content and temperature of spaghetti on their mechanical properties. *Journal. Food Engineering*, (59) 51-60.
- Dalbon, C., Gpivon, D., y Pagani, M. (1996). *Continuous manufacturing process. In pasta and noodle technology*. St. Paul: AACC.
- De Hombre R., Castro E., (2003). *Análisis de la textura de Spaghetti de diferentes marcas comerciales en Chile*. Santiago, Chile.
- D'Egidio, M. G., Mariani, B. M., Nardi, S., Novaro, P., y Cubadda, R. (1990). Chemical and technological variables and their relationships: a predictive model for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry*, 275-81.
- D'Egidio, M.G., De Stefanis, E., Fortini, S., Galterio, G., Nardi, S., y Sgrulletta, D., (1981). *Influenza del tipo di acqua usata nella cottura sulla qualità delle paste*. *Tecnica Molitoria* 32, 505–511.
- Dendy, D., Dobraszczyk, B., (2004). *Cereales y productos derivados. Química y tecnología*. Acribia, Zaragoza España.
- Dexter, J. E., Kilborn, R. H., Morgan, B. C. y Matsuo R.R. (1983b). Grain research laboratory compression tester: Instrumental measurement of cooked spaghetti stickiness, *Cereal Chemistry*, 60 (2), 139-42.
- Dexter, J. E., Matsuo, R. R., y Morgan, B. C. (1983a). Spaghetti stickiness: some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. *Journal food Science*, 48(5)(1545-51, 1559).
- D'Francisci, J. I. (2003). Basics of pasta extrusion systems. *New-Food*, 5(4), 85-6.
- Edwards, N. M., Izydorezyk, M. S., Dexter, J. E., y Biliaderis, C. G. (1993). Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. *Cereal Chemistry*, 70(2), 122-126.

- Feldman , P., Santin , C., y Etcheverry, S. (2001). Eje Centro de información sobre alimentos. Chile.
- Foegeding, E., Daubert, C., Drake, M., Essick, G., Truisson, M., Vinyard, C., y col. (2011). A comprehensive approach to understanding textural properties of semi - and soft - solid foods. *Journal of Texture Studies*.
- Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., González-Laredo, R. F., Ochoa-Martínez, L. A., Corzo, N., Bello-Perez, L. A., y Peralta-Alvarez, L. E. (2010). Quality of spaghetti pasta containing mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119(4), 1544-1549
- Giese, J. (1992). Pasta: new twists on an old product. *Food Technology*, 46(2), 117-26.
- González V. N., (2003). *Tesis Desarrollo tecnológico de un producto alimenticio de preparación rápida a base de pasta, verdura y germinado de amaranto*. Universidad tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.
- Harrison D. (1999). Manufacturers try to beat the drums for pasta, *Frozen Food Age*, 47 (8), 32-5.
- Hleap J. y Velasco A., (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Bio. Agro* vol.8 no.2, Popayán Colombia Jul./Dec. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000200007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000200007&script=sci_arttext)
- Jeanet R., Croguennec T., Schuck P. y Bruelé G. (2010), *Ciencia de los Alimentos, Vol. II: Tecnología de los productos Alimentarios*, Acribia, Zaragoza, España, 145 - 190.
- Khouryieh, H., Herald, T., y Aramouni, F. (2006). Quality and Sensory Properties of fresh egg noodles formulated with either total or partial replacement of egg substitutes. *Journal of Food Science*, 71:6, 443-448.
- Kilcast, D. (2004). Texture in Food. *Vol. II: Solid Foods*. 109-500.
- Kill, R. C., y Turnbull, K., (2004). *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola*. Acribia Zaragoza, España.
- Kobs, L. (2000). Frozen pasta and rice dishes. *Food Product Design*, 10(8), 124-6, 129-30, 133-4, 137-43.
- Madrid, V., Gómez-Pastrana, Santiago, F., Madrid, V., Cenzano, J., (2003). *Refrigeración congelación y envasado de los alimentos*. AMV y Mundi – Prensa ediciones, Madrid, España.

- Majzoobi, M., Ostovan, R., y Farahnaky, A. (2011). Effects of gluten powder on the quality of wheat flour spaghetti cooked in distilled or salted water. *Journal of Texture Studies*, 42(6), 468-477.
- Malcomson, L. J., Matsuo, R. R., y Balshaw, R. (1993). Textural optimization of spaghetti using response surface methodology: effects of drying temperature and durum protein level. *Cereal Chemistry*, 417-423.
- Marchylo, E. A., y Dexter, J. E. (2001). *Pasta production. In cereal Processing*. Cambridge, Woodhead: G. Owens.
- Martínez P., L., Casas A., N., Tecante, C., A., y Ramírez, O., M., (2001). Reología y textura de materiales biológicos. *Seminario de titulación para la carrera de ingeniería en alimentos*. Facultad de estudios superiores cuautitlán: Universidad Autónoma de México.
- Matsuo, R. R., Bradley, J. W., y Irvine, G. N. (1972). Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chemistry*, 49(6), 707-11.
- Matsuo, R. R., Dexter, J. E., Boudreau, A., y Daun, J. K. (1986). the role of lipids in determining spaghetti cooking quality of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 63(6), 484-9.
- Matsuo, R. R., Dexter, J. E., Kosmolak, F. G., y Leisle, D. (1982). Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 59(3), 222-8.
- Méndez, V. y De Hombre, R. (1994). Endurecimiento de frijoles negros durante su almacenamiento. *4ª Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnol. de Alimentos*, La Habana, Cuba.
- Menger, A. (1979) Crucial points of view concerning the execution of pasta cooking tests and their evaluation, *Comp. Rendus Symposium inter sur les matieres premieres et pates alimentaires* (Rome), 53-60.
- Milatovic, L., y Mondelli, G. (1991). *Pasta technology today*. Italia: Pinerolo.
- Mohamed, A. A., Rayas-D, D. P., Xu, J., Palmquist, D. E., y Inglett, G. E. (2005). Hard red winter wheat/nutrim - OB alkaline fresh noodles: Processing and texture analysis. *Journal. Food Science*(70), 1 S1-S7.
- Muller, H. G., (1973), *Introducción a la reología de los alimentos*. Acribia, Zaragoza, España.
- Norma Mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002. (s.f.). *Alimentos-Pasta- Características, Denominación, Clasificación comercial y métodos de prueba*.

- Özkan, N., Xin, H., y Chen, X. (2002). Application of a depth sensing indentation hardness test to evaluate the mechanical properties of food materials. *Food engineering and physical properties*.
- Raina, C. S., Singh, S., Bawa, A. S., y Saxena, D. C. (2005). Textural characteristics of pasta made from rice flour supplemented with proteins and hydrocolloids. *Journal of Texture Studies*, 36(4), 402-420.
- Ravella Sreenivas, R., Ganesh Kumar, Shetty Prakasham, R., y Hobbs, P. J. (2008). The Taguchi methodology as a statistical tool for biotechnological applications: a critical appraisal. *Biotechnology journal*, 3, 510-523.
- Rizzi, S., y Lee, L. T. (2001). *El gran libro de la pasta*. Leon, España: Everest.
- Rosenthal A. (2001). *Textura de los alimentos medida y percepción*. Zaragoza España: Acribia.
- Roudot, A. C. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. Zaragoza España: Acribia.
- Saltos Arana Lady E. (2011) *Comportamiento reológico de pastas con sémola y pastas con harina de trigo utilizando lipasa como mejorador enzimático*. Escuela Superior Politecnica del litoral, tesis de grado, Guayaquil, Ecuador.
- Samaan, J., El-Khayat, G. H., y Manthey, F. A. (2006). Durum wheat quality : II. The relationship of kernel physicochemical composition to semolina quality and end product utilization. *International Journal of Food Science and Technology*, 41:2, 47-55.
- Sedano Rodriguez, M. D. (1998). *Evaluación de la aceptación del producto "Pastas alimenticias infantiles" en la ciudad de Guatemala*. Universidad Francisco Marroquin, Facultad de ciencias económicas., Guatemala.
- Sissons, M. J., Schlichting, L. M., Egan, N., Aarts, W. A., Harden, S., y Marchylo, B. A. (2008a). A standardized method for the instrumental determination of cooked spaghetti firmness. *Cereal Chemistry*, 85(3), 440-444.
- Sissons, M., Ames, N., Egan, N., y Rhymer, C. (2008b). A comparison of two instrumental techniques used to discriminate the cooking quality of spaghetti. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(7), 1323-1329.
- Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Food World*, 42, 8-13.
- Solano Olivares, R. R. (2001). *Propiedades texturales de la masa y la tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado, efecto de la humedad de la masa*. Tesis de Licenciatura en Ing. en alimentos. Cuautitlán: UNAM FES.

- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28(4), 385-9.
- Szczesniak, A.S; Humbaugh, P. R. y Block, H.N, (1970). Behavior of different foods in the standard compression cell of the shear press and the effect of sample weight in peak area and maximum force. *Journal Texture Studies*, 1, 356.
- Tudorica, C. M., Kuri, V., y Brennan, C. S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal Agricultural Food Chemistry*(50), 347-356.
- Voisey P. W., Larmonde, E., y Wasik, R. J. (1978). Measuring the texture of cooked spaghetti, 1. Sensory and instrumental evaluation of firmness. *Food Science Technology Journal*,11(3), 142-48.
- West, R., Duizer, L., y Seetharaman, K. (2013). The effect of drying and whole grain content on the pasting, physicochemical and qualitative properties of pasta. *Starch/ Staerke*, 65(7-8), 645-652.
- Zambrano - Zaragoza, M., Mercado - Silva, E., Gutierrez - Cortéz, E., Cataño - Tostado, E., y Quintanar - Guerrero, D. (2008). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion - diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*.
- Zegers, F. (1988). La empresa y las pastas en Chile. Carozzi 90 años 1998 – 1988. Publicado por Fideos y Alimentos Carozzi S.A., Nos, Chile.
- Zhang, L., Nishizu, T., Hayakawa, S., Nakashima, R., y Goto, K. (2012). Effects of different drying conditions on water absorption and gelatinization properties of pasta. *Food and Bioprocess Technology*, 1-10.

## REFERENCIAS ELECTRONICAS

- American Supplier Institute, matrices ortogonales, 1-09-2007. Consultado el 18-10-2011. Disponible en: [http://asispain.com/art\\_matrices.php](http://asispain.com/art_matrices.php).
- Equipo de proceso, secadores de charola, (s.f). Consultado el 19-10-2012. Disponible en: <http://equipo-de-proceso-3d.com/Tmasa/Secadores/Secadores.htm>.
- Evisos clasificados online, foto laminadora para pastas Consultado el 19-10-2012. Disponible en: <http://santafe.evisos.com.ar/fotos-del-anuncio/laminadora-para-pastas-600-mm-y-400-mm-id-638120>.

- Fuchs, L., Los fideos soba, una pasta diferente desde Japón 6-05-2012. Consultado el 18-05-2013. Disponible en: <http://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/los-fideos-soba-una-pasta-diferente-desde-japon>
- Garrubbo Guide, about tortellines, 19-11-2010. Consultado el 28-10-2013. Disponible en: <http://garrubbo.com/about-tortellini/>.
- Gastronomía Vegana, La pasta: tipos, salsas, métodos de cocción y consejos para disfrutarla, 19-10-2012. Consultado el 26-10-2013. Disponible en: <http://www.gastronomiavegana.org/recetas/la-pasta-tipos-salsas-metodos-de-coccion-y-consejos-para-disfrutarla/>
- INSTRON; Katedra Textilních technologií, Instron 4411, 2007. Consultado el 19-10-2012. Disponible en: [http://www.ktt.tul.cz/?page=pristroje&action=detail&nextaction=view&id\\_pristroje=2&lang=en](http://www.ktt.tul.cz/?page=pristroje&action=detail&nextaction=view&id_pristroje=2&lang=en).
- International Pasta Organization (IPO) Historia de la pasta, (s.F.). Consultado el 11-09-12. Disponible en: <http://www.internationalpasta.org/index.asp?idsub=30>
- International Pasta Organization (IPO), Annual Survey on World Pasta Industry, (s.f.). Consultado el 11-09-12. Disponible en: <http://www.internationalpasta.org/index.asp?idsub=30>
- Kedin, Fotos de Curso monográfico de pasta fresca a la italiana, (s.f.). Consultado el 28-10-2013. Disponible en: <http://kedin.es/eventos/curso-monografico-de-pasta-fresca-a-la-italiana/imagenes/269734>.
- Licata, M., 2013, Las pastas: energía saludable. Consultado el 25-09-2013. Disponible en: <http://www.zonadiet.com/comida/pastas.htm#ixzz2g7EGjvVJ>.
- Los alimentos, nutrientes de la pasta (s.f.). Consultado el 25-10-2013. Disponible en: <http://alimentos.org.es/pasta>.
- Maquinaria Pama Roma, mezclador de pasta fresca, (s.f). Consultado el 19-10-2012. Disponible en: [http://www.pastasfrescas.pamaroma.it/maquinaorecchiette\\_pastasfrescas.htm](http://www.pastasfrescas.pamaroma.it/maquinaorecchiette_pastasfrescas.htm).
- Mia maria restaurante, fotos de curso monográfico de pasta fresca a la italiana, fusilli, 2012. Consultado el 15-03-2013. Disponible en: [http://lamiamaria.com/carta\\_pastas.php](http://lamiamaria.com/carta_pastas.php)
- Muñoz, G., 18-10-2012. Consultado el 27-10-2013. Disponible en: <http://www.s21.com.gt/pulso/2012/10/18/producira-pasta-para-istmo-sur-mexico,27-09-13-siglo-XXI>
- Ortega A., 2008, La nota latina, ¿ Y a quien no e gusta la pasta?.

Consultado el 26-10-2013. Disponible en: [http://www.lanotalatina.com/notas%20de%20antojo/notas\\_de\\_antojo\\_y\\_a\\_quien\\_no\\_le\\_gusta\\_la\\_pasta.html](http://www.lanotalatina.com/notas%20de%20antojo/notas_de_antojo_y_a_quien_no_le_gusta_la_pasta.html).

- Romanas kitchen, pasta, ravioles, 3-08-2013. Consultado el 28-10-2013. Disponible en: <http://romanaskitchen.com/tag/ravioles/>.
- Taringa, Como hacer ñoquis, (s.f.). Consultado el 20-03-2013. Disponible en: <http://www.taringa.net/posts/recetas-y-cocina/11148263/Como-hacer-noquis-bien-piolas.html>.
- Wikipedia, fideo de arroz, 12-03 2013. Consultado el 20-03-2013. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Tallarines\\_de\\_arroz](http://es.wikipedia.org/wiki/Tallarines_de_arroz)