



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD PARA UN PAN DE TRADICIÓN: PAN DE MUERTO Y LA MODIFICACIÓN DE SU FORMULACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE GRASA**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

**ANA GUADALUPE NAVARRETE CERVANTES**

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Q.F.B. María de Lourdes Gómez Ríos

**VOCAL:** Dr. Alberto Tecante Coronel

**SECRETARIO:** M. en C. Rafael Carlos Marfil Rivera

**1er. SUPLENTE:** I.A Mariana Ramírez Gilly

**2° SUPLENTE:** Q.A Ana Laura Ocampo Hurtado

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Laboratorio 313, Conjunto E, Facultad de Química, UNAM.

**ASESOR DEL TEMA:**

Q.F.B. María de Lourdes Gómez Ríos

---

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

I.A Mariana Ramírez Gilly

---

**SUSTENTANTE (S):**

Ana Guadalupe Navarrete Cervantes

---

## CONTENIDO

Índice de Abreviaturas.....	5
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
OBJETIVOS.....	11
General.....	11
Particulares.....	11
HIPÓTESIS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b>	
1.1 Lípidos.....	13
Lípidos comestibles.....	14
Deterioro de lípidos .....	15
1.2 Panificación .....	16
Historia.....	16
Pan de muerto .....	17
Materias primas esenciales.....	18
Etapas del proceso.....	18
Mezclado.....	18
Fermentación.....	19
Moldeado.....	19
Horneado.....	20
1.3 Elementos de calidad.....	21
Control y aseguramiento de calidad.....	22
Regulaciones internacionales y nacionales .....	24
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	
2.1 Proceso general para elaborar pan de muerto .....	25

2.2 Caracterización de materias primas.....	26
2.3 Caracterización de la masa.....	27
2.4 Caracterización de pan de muerto.....	30
2.5 Análisis Estadísticos .....	31
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1 Caracterización de las materias primas .....	33
3.11 Pruebas de deterioro de lípidos.....	33
3.12 Pruebas Fisicoquímicas.....	37
3.13 Pruebas Microbiológicas.....	39
3.14 Pruebas Sensoriales.....	39
3.2 Caracterización de la masa.....	41
3.21 Masa antes de fermentar.....	41
3.22 Masa después de fermentar.....	48
3.3 Caracterización del pan de muerto.....	49
3.31 Análisis de perfil de textura (TPA).....	49
3.32 Análisis Químico Proximal (AQP) .....	53
3.33 Análisis Microbiológico .....	54
3.34 Análisis sensorial.....	55
3.35 Tabla nutrimental y etiquetado frontal.....	61
CONCLUSIONES.....	64
REFERENCIAS.....	65
ANEXOS.....	67

## ÍNDICE ABREVIATURAS

TAG: Triglicéridos  
AG: Ácidos grasos  
RH: Ácido graso insaturado  
G.V: Grasa vegetal  
M.C : Manteca de cerdo  
N.R: No reportado  
M.A: Mesófilos aerobios  
C.T: Coliformes Totales  
F.A: Formulación A  
F.B: Formulación B  
F.C: Formulación C  
F.D: Formulación D  
a.f: antes de fermentar  
d.f: después de fermentar  
 $\sigma$ : Esfuerzo  
 $\epsilon$ : Deformación  
Pa: Pascal  
G': Módulo de elasticidad  
G'': Módulo de viscosidad  
TPA: Texture Profile Analysis

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1- Formulación original para la elaboración de pan de tradición: pan de muerto.
- Tabla 2- Formulación A: Sustitución total de la manteca de cerdo por la manteca vegetal.
- Tabla 3- Formulación A: Sustitución total de la manteca de cerdo por la manteca vegetal.
- Tabla 4- Formulación C: Mantener sólo a la mantequilla.
- Tabla 5- Formulación D: Mantener sólo a la manteca de cerdo.
- Tabla 6- Índice de peróxidos para las 4 grasas a temperatura ambiente (20 a 25° C).
- Tabla 7- Índice de peróxidos para las 4 grasas a temperatura de refrigeración (4° C).
- Tabla 8- Índice de acidez para las 3 grasas a temperatura ambiente (20-25° C).
- Tabla 9- Índice de acidez para las 3 grasas a temperatura de refrigeración (4° C).
- Tabla 10- Índice de Kreiss para las 3 grasas a temperatura ambiente (20-25° C).
- Tabla 11- Índice de Kreiss para las 3 grasas a temperatura de refrigeración (4° C).
- Tabla 12- Análisis de humedad y punto de fusión para la manteca de cerdo, grasa vegetal y mantequilla con sus respectivas normas mexicanas.
- Tabla 13- Análisis de humedad, cenizas, proteína y gluten para la harina de trigo de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-007-1982.
- Tabla 14- Análisis de frescura para el huevo y leche con sus respectivas normas mexicanas.
- Tabla 15- Análisis de M.A y C.T para las tres grasas y el huevo con sus respectivas normas mexicanas, almacenados a una temperatura de refrigeración (4° C).
- Tabla 16- Pruebas cualitativas de sabor, aroma, textura, aspecto y color para las tres grasas con sus respectivas normas mexicanas.
- Tabla 17- Pruebas reológicas de la masa antes y después de fermentarse.
- Tabla 18- Pruebas reológicas de la masa con el texturómetro después de fermentar
- Tabla 19- Pruebas de textura para las cinco formulaciones.

Tabla 20- Análisis de humedad, cenizas y aporte calórico para las cinco formulaciones de pan.

Tabla 21- Microorganismos indicadores para cada formulación.

Tabla 22- Análisis estadístico por comparaciones DMS para la suavidad del pan.

Tabla 23- Relación entre suavidad del pan con humedad y preferencia del consumidor.

Tabla 24- Valores propuestos para la humedad como un parámetro de calidad en pan de muerto.

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1- Estructura de ácidos grasos saturados e insaturados
- Figura 2- Reacción de lipólisis o rancidez hidrolítica
- Figura 3- Mecanismo de reacción de autooxidación o rancidez oxidativa.
- Figura 4- Bajorrelieve con egipcios procesando el pan fermentado
- Figura 5- Esquema de conceptos de calidad
- Figura 6. Proceso para la elaboración de pan de muerto.
- Figura 7- Diagrama de caracterización para materias primas.
- Figura 8- Detalles del mezclado en la batidora Kitchen Aid®
- Figura 9- Pruebas reológicas realizadas a la masa antes y después de fermentarse.
- Figura 10- Proceso de fermentación y horneado con sus respectivos parámetros.
- Figura 11- Pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales para caracterizar el pan.
- Figura 12- Pruebas bromatológicas para la información nutrimental y de etiquetado frontal.
- Figura 13- Sistema de punción con el texturómetro
- Figura 14- Viscoelasticidad para las diferentes formulaciones de la masa antes de fermentar.
- Figura 15- Relación de la delta ( $^{\circ}$ ) respecto a la frecuencia para todas las formulaciones de pan.
- Figura 16- Gráficas del análisis de perfil de textura para cada formulación con sus respectivas repeticiones.
- Figura 17- Gráficas de pay para frecuencia de consumo del pan de tradición mexicano.
- Figura 18- Orden de preferencia para cada formulación de pan, desde “Me gusta mucho” (5) hasta “Me gusta poco” (1).
- Figura 19- Intención de compra para cada formulación de pan de muerto.
- Figura 20- Tabla de información nutrimental para el pan de muerto
- Figura 21- Diseño del etiquetado frontal con sus respectivos valores nutrimentales.

## RESUMEN

En México se acostumbra la elaboración de pan de tradición: pan de muerto. Este producto sólo es consumido en los festejos del “día de muertos” y en cada región del país varía la forma de su elaboración.

En esta tesis, se realizaron dos trabajos paralelos basándose en el pan de muerto proveniente de la localidad de Santa Inés Zacatelco, en el estado de Tlaxcala.

El primer trabajo consistió en buscar y proporcionar indicadores de calidad para la elaboración del pan de muerto y de esta manera tener información útil en el área de panificación y así lograr la homogeneidad en la elaboración de este producto. Para esto, se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales a la materia prima y al pan, mientras que para la masa se obtuvieron indicadores relacionados a su comportamiento reológico (tracción y viscoelasticidad). Se encontró que las grasas deben utilizarse en un periodo de quince días y almacenarse a una temperatura de refrigeración. En cuanto a la masa, se pretendía establecer al módulo de Young como un indicador de calidad, pero este resultó sensible al método por la compleja estructura de la masa. En el producto final, pan de muerto, se estableció el parámetro de la humedad como un indicador recomendable para caracterizar al pan.

El segundo trabajo consistió en modificar la formulación original del pan de muerto en cuanto al tipo de grasa con el fin de reducir el consumo de la manteca de cerdo y así establecer una alternativa de estos ingredientes en la producción del pan de muerto. Para esto, se establecieron cuatro formulaciones diferentes respecto a la original y a cada una se le hicieron las mismas mediciones. Para cada medición se realizaron análisis estadísticos a partir de una ANOVA para evaluar las diferencias significativas y con la prueba de diferencia de medias (DMS) se visualiza entre cuáles formulaciones radica dicha diferencia. En la masa se encontró que la formulación original resulta similar a la formulación con mantequilla en cuanto a la resistencia de una deformación. Y en el pan la formulación original resultó similar, en cuanto a su humedad y suavidad, respecto a la formulación donde se le sustituye por grasa vegetal. Se pretende que los resultados obtenidos sean utilizados tanto para futuras investigaciones como para el sector industrial de la panificación.

## **ABSTRACT**

In Mexico, it is customary to elaborate tradition bread: Pan de Muerto. This product is only consumed in the festivities of the "Día de Muertos, " and the way it is prepared varies in each region of the country.

In this work, two parallel steps were carried out based on bread made according to a recipe coming from the locality of Santa Inés Zacatelco, in the state of Tlaxcala.

In the first step quality indicators for bread "Pan de Muerto" production were identified and estimated, so consistent product can be obtained, that is, more homogeneous and reproducible product.

For this purpose, physicochemical, microbiological and sensory analyses were carried out on the raw material and bread, while for the dough we obtained indicators related to its rheological behavior expressed by tensile strength and viscoelasticity. Results show the fats should be used within fifteen days and stored in refrigeration. As to the dough, Young's modulus could not be used as a quality indicator because of its sensitivity resulting from the complex structure of the dough. In the final product, moisture content was found to be a recommendable indicator to characterize "Pan de Muerto."

The second step consisted in modifying the original formulation of the bread as to the type of fat to reduce the consumption of lard and thus to establish an alternative to this ingredient in the production of this kind of food. For this, four different formulations were set with respect to the original, and each one was subjected to the same measurements. For each measurement, an ANOVA test was carried out to determine significant differences using the test of difference of means (DMS) to distinguish among formulations. In dough, similar deformation strength was found between the original recipe and that with butter. In bread, the original formulation was similar, regarding its humidity and softness, concerning the formulation with vegetable fat. The results of this work could be the basis for future research on this and other similar products and be a source of information for the industrial sector of baking.

## **OBJETIVOS**

### **GENERALES**

Esta tesis tiene dos objetivos centrales paralelos

- Definir y emitir indicadores de calidad aplicados a la materia prima, preparación y producto final sobre un producto de panificación mexicano: pan de muerto, con el fin de proponer y difundir información útil para la industria de panificación.
- Modificar la receta original del pan de muerto, cambiando la proporción de grasa de origen animal por grasa vegetal, de tal modo que se tengan características físicas y sensoriales similares a la original para buscar alternativas en el producto.

### **ACTIVIDADES PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS (Particulares)**

- Evaluar el deterioro lipídico oxidativo de la grasa animal, grasa vegetal y mantequilla para corroborar su estabilidad como materia prima en la elaboración del pan.
- Estudiar el comportamiento de la masa original y de las masas modificadas de acuerdo con parámetros reológicos antes y después de fermentar para observar su resistencia y su tendencia de viscoelasticidad con el fin de determinar cuál es la formulación que resulta tener características físicas similares a la original y la emisión de indicadores de calidad en el pan de muerto.
- Generar un etiquetado frontal e información de la tabla nutrimental del producto terminado para proporcionar la información en caso deseado del productor o del consumidor, cumpliendo con la especificación de etiquetado emitida por la COFEPRIS y por la NOM-051-SSA1-2010.

## **HIPÓTESIS**

- Para lograr la evaluación del deterioro lipídico en la materia prima para la elaboración del pan (manteca de cerdo, grasa animal, mantequilla), las grasas insaturadas, como la grasa vegetal, mostrarán un deterioro lipídico de oxidación mayor que las saturadas presentes en manteca de cerdo y mantequilla debido a sus dobles enlaces.
- El módulo de Young para la masa antes y después de fermentar serán un indicador para expresar su calidad.
- La masa de pan de muerto mostrará un comportamiento más elástico que viscoso.
- La humedad y el “Texture Profile Analysis” (TPA) en el pan resultarán ser un indicador útil en la calidad del producto final.

## INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO 1- MARCO TEÓRICO

#### 1.1 LÍPIDOS

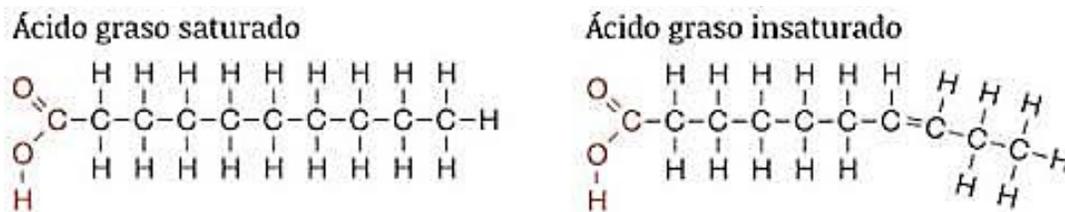
Los lípidos son un grupo de compuestos formados principalmente por C, H y O, los cuales integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas.

Tienen diversas funciones, como formar parte de la estructura de las membranas celulares, proporcionar reserva de energía, transportar ciertos nutrientes y contribuir a la textura en los alimentos.

Los lípidos proporcionan a los alimentos diferente textura o consistencia, también contribuyen al sabor característico debido a la presencia de compuestos como aldehídos, cetonas o carbonilos, incluso a veces contribuyen al color del alimento debido la presencia de carotenoides.

Los ácidos grasos son ácidos mono carboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono. Por lo general se encuentran esterificados, integrando los triacilglicéridos (TAG); y cuando se presentan en estado libre hay indicios de una hidrólisis del enlace éster.

Existen dos tipos de ácidos grasos: Saturados e insaturados (Figura 1). Los primeros tienen de 4 a 26 átomos de carbono, su punto de fusión aumenta si la cadena crece y son mucho más estables ante la oxidación, mientras que los insaturados están formados por dobles enlaces, su punto de fusión disminuye con el aumento de dobles ligaduras, y el tener insaturaciones los hace más reactivos y propensos a transformaciones oxidativas y de isomerización.



**Figura 1.** Estructura de ácidos grasos saturados e insaturados.

## **LÍPIDOS COMESTIBLES**

Se entiende por grasas y aceites comestibles a los materiales que se componen de glicéridos de ácidos grasos y son de origen vegetal, animal o marino.

Por ello las grasas y aceites usados para fines comestibles, se dividen en dos grupos: aceites y grasas. Dependiendo del alimento a elaborar es la grasa a utilizar, por ejemplo, en la industria panificadora suelen utilizarse las grasas en estado sólido.

La manteca de cerdo es el producto semi-sólido graso obtenido por la fusión o cocción o fritura de los tejidos adiposos, frescos, limpios y sanos del cerdo, en buenas condiciones sanitarias en el momento de su sacrificio y apto para el consumo humano (NMX-F-110-1999). La composición, características y consistencia de este tipo de grasa varía considerablemente de acuerdo con la alimentación de los animales. En general contiene mayor proporción de ácido palmítico, esteárico, oleico y mirístico (Bailey, 1984).

La mantquilla es el producto graso derivado exclusivamente de la leche y/o de productos obtenidos de la leche, principalmente en forma de emulsión del tipo agua en aceite. La mantquilla se puede clasificar con base en los aditivos adicionados: con sal o sin sal; y en cuanto al tipo de nata: mantquilla dulce, elaborada a partir de nata dulce, fresca y madurada sin acidificar, y mantquilla ácida, elaborada a partir de una acidificación de la nata de la leche, para lo cual se le inoculan fermentos bacterianos (Benitez, 2013).

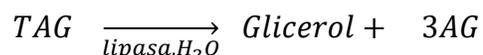
La manteca vegetal es el producto semi-sólido graso, obtenido a partir de aceites de las semillas de las siguientes plantas oleaginosas: ajonjolí, algodón, cacahuate, canola, cártamo, coco, girasol, maíz nabo o colza, palma, soya y otros permitidos. Para fabricar mantecas vegetales los aceites crudos de las semillas oleaginosas mencionadas se someten a los procesos de: neutralizado, lavado, secado, blanqueado, hidrogenación selectiva, filtrado y deodorizado. En el proceso de hidrogenación se tiene que eliminar el catalizador utilizado por filtración y/o blanqueo. (NMX-F-373-1985)

La margarina es formada por una emulsión líquida o semisólida, generalmente de tipo agua/aceite, obtenida de grasas y aceites que no proceden de la leche (CODEX STAN 32-1981).

### **DETERIORO DE LÍPIDOS.**

Las grasas tienden a presentar una descomposición química debido a su alta reactividad, que conlleva a la producción de compuestos volátiles que imparten aromas y olores desagradables, así como una reducción en el valor nutritivo. Estas reacciones se dividen en dos tipos:

- Lipólisis o rancidez hidrolítica (Figura 2). Es una reacción de descomposición enzimática, producida por lipasas; y ocurre a altas temperaturas en presencia de agua, en la cual se hidroliza el enlace éster de los triacilglicéridos para formar una molécula de glicerol y tres de ácidos grasos (AG):



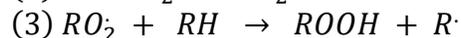
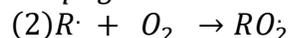
**Figura 2.** Reacción de lipólisis o rancidez hidrolítica

- Autoxidación o rancidez oxidativa (Figura 3). Reacción que ocurre cuando se oxidan las insaturaciones de los ácidos grasos, es decir, cuando un átomo cede un electrón a otro átomo distinto mediante el proceso de la reducción. El mecanismo en el que se lleva a cabo esta reacción es mediante radicales libres por medio de tres pasos consecutivos: Iniciación, propagación y terminación.

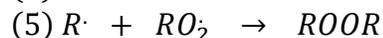
*Iniciación:*



*Propagación:*



*Terminación:*



**Figura 3.** Mecanismo de reacción de autoxidación o rancidez oxidativa.

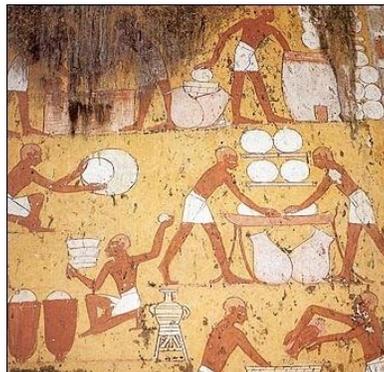
Los hidroperóxidos producidos producen radicales que seguirán en la reacción, pues su ruptura genera aldehídos, cetonas, ácidos y otros compuestos de bajo peso molecular que confieren olores desagradables como los aldehídos malónicos. Estos productos finales se detectan con el índice de Kreiss y son indicativo de que hubo una autoxidación.

## **1.2 PANIFICACIÓN**

### Historia

El trigo ha sido un cereal de suma importancia a lo largo de la historia en distintas civilizaciones, pues se ha encontrado el culto al trigo tanto en pinturas rupestres como en estatuillas, al cual lo trituraban con agua y formaban una masa, simulando un pan plano.

Fue en el antiguo Egipto, aproximadamente en el año 3000 a.C., donde se realizó la elaboración del primer pan fermentado. Esto fue encontrado en bajorrelieves, donde se ilustra una masa que produce burbujas y aumentaba su tamaño (Figura 4). Además, en algunos pergaminos egipcios hay ilustraciones de elaboración de más de veinte tipos de pan.



**Figura 4.** Bajorrelieve con egipcios procesando masa para preparar pan.

La evolución del pan se fue extendiendo a lo largo del tiempo, las variedades de pan que hoy se conocen se fueron inventando poco a poco. En Roma, entre los siglos I al X D.C, se empezaron a crear hornos fijos o de ladrillos donde ponían leña por debajo para calentar la masa, eran muy básicos y sencillos, pero con los mismos principios que los de la actualidad. Por ello se construyeron varias panaderías donde ya empezaban a vender variedad y a fijarle un tamaño a la pieza con sus respectivos precios.

En la edad Media, fue cuando los señores feudales establecieron sus derechos sobre los vasallos obligándolos a llevar la harina producida y así los señores empezaron a elevar los precios y vendérselos a sus vasallos (Calaveras, 1996).

Cuando terminó esta etapa feudal, los campesinos empezaron a elaborar el pan en sus propias casas improvisando sus hornos.

A principios del siglo XIX se empieza a comercializar aún más el pan, y con la revolución industrial la tecnología avanza introduciendo molinos con cilindros, así como amasadoras y hornos de cocción continua, por ello la variedad de pan se estratifica en bizcochos, salado y galletería.

Hace algunos años, en 1990, se empezó a desarrollar la tecnología de masas congeladas y precocidas, lo cual reduce el tiempo de preparación, genera mayor vida de anaquel y estandariza su venta.

### Pan de tradición mexicano: Pan de muerto

El pan de tradición mexicano tiene sus orígenes desde la época de Mesoamérica, pues los prehispánicos tenían el ritual de sacrificar a la princesa y colocar su corazón en una olla con amaranto. Pero cuando los españoles llegaron a conquistar las tierras de La Nueva España, además de los cambios culturales que impusieron, también transfirieron un cambio gastronómico al traer harina de trigo y elaborar un pan que representara esos rituales. A este pan, al día de hoy se le conoce como “pan de muerto” y se usa para dedicárselo a los difuntos en las ofrendas que se celebran cada año (Rodríguez, 2010).

En varios estados de la República Mexicana se elabora este pan de tradición a su modo con diversas formulaciones en los ingredientes. Los principales a usar son:

Harina de trigo, levadura, manteca de cerdo, huevo, leche y extracto de naranja. De estos, la grasa animal da la función de brindar la textura típica y deseable en un pan (Badui, 2006).

### Materias primas esenciales

La industria panificadora es muy amplia en sus productos, y por ende para cada uno el proceso difiere. La panadería se clasifica en dos grupos: Pan dulce (bizcochería) y pan salado. De manera general, para la elaboración de pan se utilizan las siguientes materias primas: harina, agua, levadura y sal. Cuando se le incluyen otros ingredientes, obtenemos variantes de pan (Mesas, 2002). Como se mencionó el pan de muerto, por lo general contiene los siguientes ingredientes: harina, huevo, azúcar, levadura, manteca de cerdo, leche, vainilla, y en algunos casos extracto de naranja. Esto va a depender de la región donde se realice el pan.

El pan de estudio es de una localidad de Tlaxcala, donde se utilizan las materias primas antes mencionadas.

Para la elaboración del pan de muerto, se utilizan las siguientes etapas: Mezclado, laminado o moldeado, fermentación y horneado.

### Etapas del proceso

#### **Mezclado**

El mezclado o amasado es una operación unitaria crítica, pues además de incorporar los ingredientes para formar la masa, se incorpora aire a la mezcla y al trabajarla se va desarrollando el gluten (Killborne & Tipples, 1972).

El desarrollo del gluten en esta operación, va a proporcionar las propiedades viscoelásticas en la masa; por lo que un factor importante es la mezcladora o amasadora que se utiliza. Estos equipos constan de un recipiente móvil donde se colocan los ingredientes y se le inserta un aditamento o brazo, con el cual se va a mezclar y hay de tres tipos: espiral, pala y globo. En este trabajo se usó una mezcladora marca “Kitchen Aid®” con cinco velocidades (2,4,6,8,10) y se usaron sólo la pala y el espiral.

Los fundamentos importantes en el mezclado son: Favorecer la hidratación y disolución de algunos ingredientes, como la harina. Además de aportar energía para que la red de gluten se vaya desarrollando en la masa; incorporar burbujas de aire para proveer núcleos de gas para que el CO<sub>2</sub> se incorpore ahí durante la fermentación y conseguir una masa adecuada para trabajarla posteriormente (Calaveras, 1996).

### **Fermentación**

La fermentación alcohólica en productos de panificación se lleva a cabo por la acción de la levadura *Sacharomyces cereviseae*, la cual va a transformar los azúcares fermentables, como la glucosa, en alcohol etílico y dióxido de carbono a una temperatura de 30-35°C. El objetivo de esta operación es la producción del CO<sub>2</sub>, el cual se retiene en la red del gluten, lo que causa un aumento de volumen y por tanto resulta un pan esponjado (Mesas, 2002).

Existen varios tipos de fermentación:

- Prefermentación-Elaboración de una masa madre y después esta se mezcla a nueva masa.
- Fermentación en masa- Periodo de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que se divide en piezas.
- Fermentación intermedia- Periodo de reposo que se da a la masa en las cámaras de bolsas tras el boleado y antes del formado
- Fermentación en piezas- Periodo de reposo que se le da a las piezas individuales hasta que se mete al horno

### **Boleado o moldeado**

Esta operación se realiza en la fermentación intermedia, es decir, entre la primera y segunda fermentación. Se tiene como objetivo estirla y volverla a su forma original para integrarla o reconstituir la estructura de la masa, así se fuerza a la masa a moverse desde el interior hasta su superficie. Generalmente, este trabajo se realiza

manualmente y la intensidad del boleado sin que se produzca un daño estructural depende del comportamiento reológico de la masa (Calaveras, 1996).

### **Horneado**

En esta operación el pan sufre tanto cambios físicos como químicos. Pues al introducir la masa en el horno, la levadura sigue produciendo CO<sub>2</sub> y hasta que se llega a una temperatura de 50 °C se inactiva. El etanol producido en estado líquido disuelto en la masa se va a evaporar, de modo que no quedan residuos de esta sustancia en el pan. El gas retenido en los alveolos se expande aún más por lo que el volumen de la masa aumenta, es decir, las burbujas de aire crecen hasta llegar a un límite de expansión, por ende, es el último volumen y textura del producto (Dobraszczyk, 2003).

Cuando se llega a los 60 °C ocurre la gelatinización del almidón, lo que provoca que la viscosidad de la masa aumente y el gluten se desnaturalice. Al final, el sistema de la masa se transforma de viscoso a elástico o sólido en la corteza.

También ocurren las reacciones de Maillard debido a la interacción del grupo amino (NH<sub>3</sub>-R) de las proteínas con el grupo carbonilo de los monosacáridos, lo que provoca un oscurecimiento del pan. Si se sobrepasa de cocción resultará un pan con la corteza oscura y una textura poco suave (Dobraszczyk, 2003).

### **1.3 ELEMENTOS DE CALIDAD**

Para este trabajo, los elementos de calidad que son importantes a tomar en cuenta son:

1. Control de calidad sobre las características que deben cumplir la elaboración de un pan de muerto.
2. El aseguramiento de la calidad para prevenir defectos en el pan de muerto.
3. Regulaciones internacionales y nacionales.

Para lo anterior los conceptos de calidad que lo sustentan son:

De acuerdo con la ISO 9000:2015, la calidad se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos para algún objeto. Los objetos son cualquier cosa que pueda concebirse o percibirse, ya sea un producto o un servicio.

Cualquier objeto debe tener rasgos que lo caractericen. Por ejemplo, un lápiz debe cumplir con la función de escribir sobre papel, este debe ser largo y angosto para poderlo manipular, así como tener una goma en la punta superior para poder borrar. Todas esas características mencionadas en un lápiz lo hacen ser de calidad.

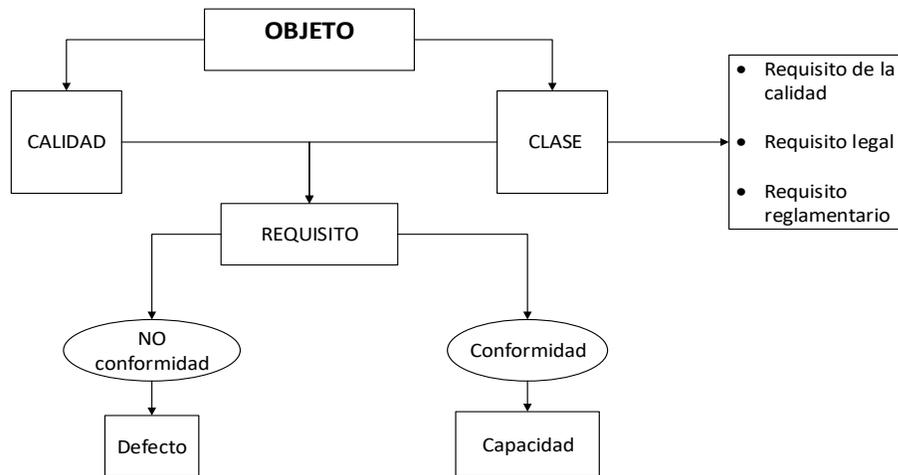
En este trabajo el objeto en cuestión es el pan de muerto y al hablar de este lo que se espera para que sea de calidad es el sabor típico de esta pieza de pan dulce, así como la suavidad al morderlo, lo adornos, la frescura del pan, etc. Por ello se deben de establecer requisitos que lo alinean para que sea de calidad.

Las características van a estar reguladas por ciertos requisitos que se expidan según el cliente. Los requisitos son las necesidades o expectativas establecidas por el interesado o por la propia organización. Se tiene diversas clases de requisitos:

- Requisito de la calidad: Son todos aquellos parámetros relativos para cumplir la calidad del producto o servicio. Por ejemplo, el analista especifica los parámetros del producto.
- Requisito legal: Es obligatorio y está especificado por un organismo legislativo, Por ejemplo, para elaborar algún producto alimenticio se tiene que seguir lo establecido en la NOM-251-SSA1-2009, prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.

- **Requisito reglamentario:** Es obligatorio y está especificado por una autoridad. Por ejemplo, un requisito por las partes interesadas, como son el corporativo de una empresa, los requisitos del cliente cuando es una entidad de gobierno o del país al que se va a exportar.

En la figura 5 se observa un diagrama en el que se visualizan algunos de los conceptos anteriormente explicados.



**Figura 5.** Esquema de conceptos de calidad

### **Control de calidad y Aseguramiento de calidad**

En la norma ISO 8402 se define al control de calidad como el conjunto de técnicas y actividades operativas para cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el objeto para satisfacción del cliente.

Cuando se quiere que un producto o servicio tenga un control en su calidad y los requisitos que se expiden son cumplidos, se dice que hay una conformidad. Cuando estos no cumplen, es decir, no se llega a la expectativa cumplida se dice que hay una no conformidad y por tanto hay defectos.

Para tener un control de calidad se puede hacer uso de lo siguiente:

- **Curvas de Operación:** Son herramientas de evaluación donde se muestra la probabilidad de aceptar un lote metido a revisión en el que se grafica la probabilidad de aceptar un lote respecto a la parte defectuosa de dicho lote, es decir, tienen como propósito juzgar la calidad de un lote con base en la

evaluación de una muestra y un criterio de aceptación estadísticamente determinados.

- Índice de capacidad de proceso: Indica la habilidad que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones deseadas y sólo es válido para procesos sometidos a un control estadístico dentro de una distribución normal. Tiene como beneficio el determinar la calidad del producto y desempeño del proceso.

El aseguramiento de la calidad es una actividad sistemática y documentada para prevenir la aparición de defectos y así dar confianza al cliente sobre el producto o servicios. Para asegurarse de no tener defectos, se puede hacer uso de algunas herramientas de calidad:

- Cartas de control de Shewart: Son gráficas que permiten determinar cuando la variación de un proceso de fabricación excede los límites aceptables, esto con el fin de detectar la variación sistemática generada en un proceso para poder ser identificada antes de que se produzca una alta cantidad de bienes defectuosos.
- Diagrama de Pareto: Es un diagrama de causa y efecto donde un 20 % de las fuentes causan el 80% de cualquier problema. Esto es con el fin de tener identificados cuales son los problemas prioritarios que hay que tratar en el proceso.
- Sistema Poka Yoke: Es una prueba para prevenir errores humanos y evitar que se transformen a defectos en el producto, y así se asegura la calidad del producto final.

El aseguramiento de la calidad se complementa con el control de calidad. Por ello, al hacer uso de estas dos filosofías se tiene al servicio o el producto dentro de un nivel satisfactorio junto con las prevenciones necesarias para evitar cualquier defecto.

## **Regulaciones internacionales y nacionales**

En el marco internacional, las normas internacionales están reguladas por la Organización Internacional de Normalización: ISO.

Esta organización crea documentos que proporciona requerimientos, especificaciones, directrices que se puedan utilizar para asegurar que los materiales, productos o servicios sean adecuados para su propósito.

Estas normas no son obligatorias desde un enfoque legal y pueden ser certificables para cualquier empresa internacional.

La organización está conformada por un comité de expertos, cada comité está encargado de un tema en específico. Esto conlleva a un trabajo colaborativo entre personas alrededor del mundo para elaborar dichas normas.

En el marco nacional, en México, se tienen dos tipos de normalizaciones:

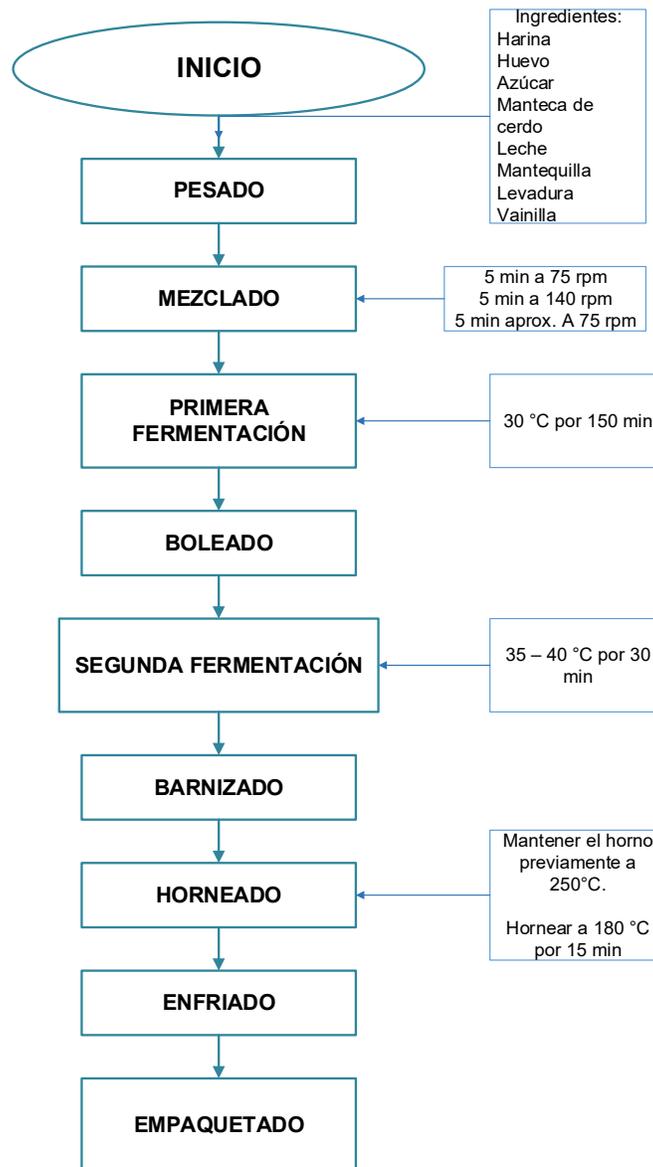
- Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales son legales y obligatorias. Estas abarcan desde la seguridad nacional, seguridad y salud y seguridad ambiental. Y son publicadas en el Diario Oficial de la Federación.
- Las Normas Mexicanas (NMX), las cuales son normas voluntarias que proporcionan una ayuda al productor.

Para efectos de este trabajo, para la caracterización de materias primas como para la elaboración del etiquetado del pan se siguió lo establecido en las NOM y en las NMX.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 2.1 Proceso General para elaborar pan de muerto.

La preparación del pan de muerto consiste en diversas etapas, se lleva a cabo durante cuatro horas aproximadamente. A continuación, en la figura 6, se muestra el proceso general con sus detalles.



**Figura 6.** Proceso para la elaboración de pan de muerto.

Para definir y emitir indicadores de calidad, el trabajo se dividió en tres partes: Caracterización de materias primas, caracterización de las masas y caracterización de los panes.

Mientras que en la comparación de las formulaciones propuestas (Tabla 2,3,4 y 5), se tomaron los mismos datos de las caracterizaciones de la masa y del pan para un posterior análisis estadístico.

## **2.2 Caracterización de Materias Primas**

Para evaluar el deterioro oxidativo de lípidos se determinó el Índice de Peróxidos, Índice de acidez e Índice de Kreiss, realizándose únicamente para los tres tipos de grasas: Manteca de cerdo, grasa vegetal y mantequilla.

Se establecieron dos temperaturas almacenamiento: Ambiente (20-25 °C) y refrigeración (4 °C) por un periodo de veintidós días, realizándose los análisis de deterioro lipídico oxidativo cada siete días. Esto con el fin de evaluar las temperaturas que usualmente utilizan en las panaderías y así determinar cuál resultará mejor respecto al deterioro lipídico oxidativo.

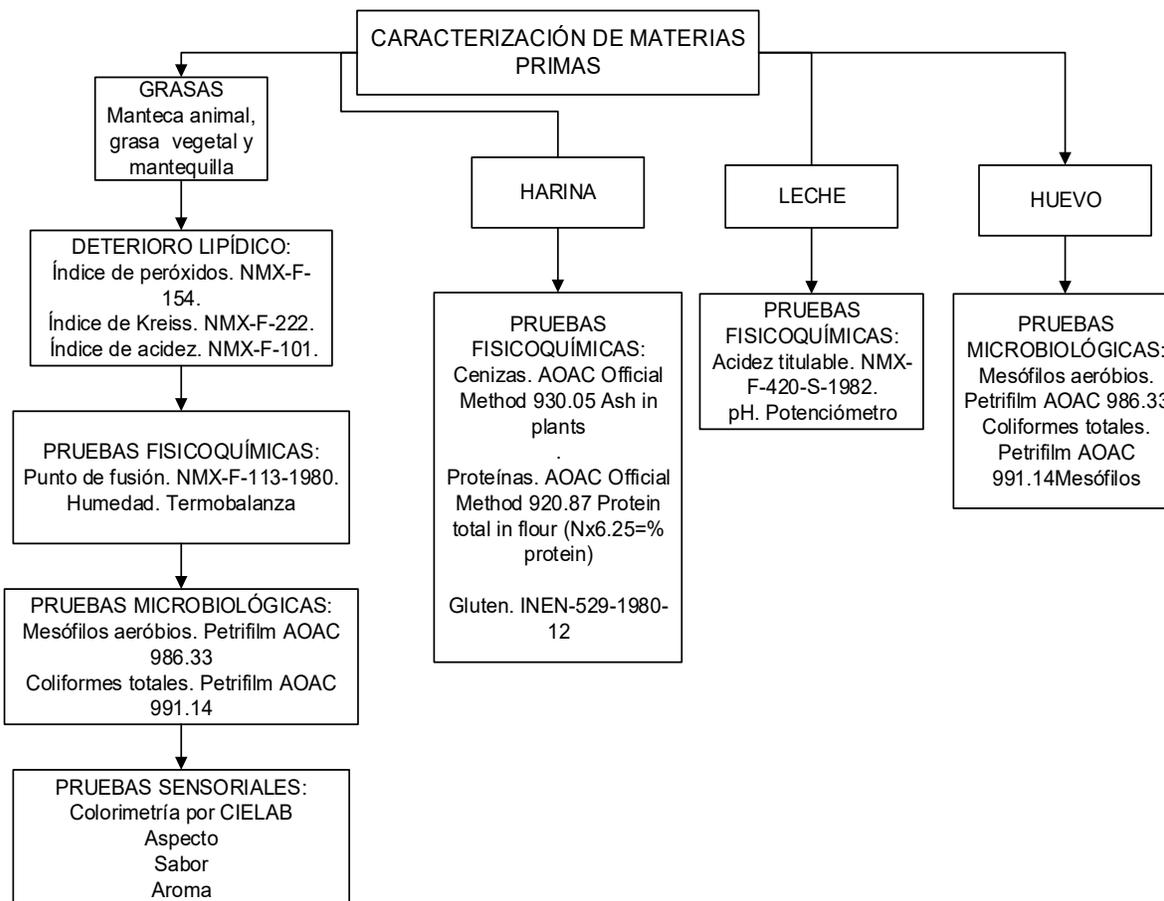
Para las pruebas sensoriales, se quiso caracterizar el color de cada grasa al día 1 de su obtención con el fin de tener caracterizado al producto. Para ello se midió con un colorímetro arrojando valores con 3 parámetros de referencia: “L” tendencia de blanco o negro, “a” tendencia de verde o rojo y “b” tendencia de azul o amarillo.

Para todas las pruebas fisicoquímicas, sensoriales y del deterioro lipídico, se realizaron repeticiones, por ello los resultados son el promedio con su desviación estándar.

En las pruebas microbiológicas para conteo de mesófilos aerobios y coliformes totales se hacen cinco diluciones ( $10^0$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ ) con sus duplicados. Para reportar los resultados se toma en cuenta la dilución donde aparecieron las colonias o se hace un promedio en caso de que crezcan en varias diluciones. Se expresa respecto a un intervalo de sensibilidad de 25 a 250 colonias. Si el conteo

de colonias resulta menor al intervalo se expresa como “Valor estimado”, si el conteo es mayor se expresa como “Incontables”.

En la figura 7 se detalla cuáles fueron las pruebas para caracterizar a cada materia prima, así como el método que se llevó a cabo.



**Figura 7.** Diagrama de caracterización para materias primas.

### 2.3 Caracterización de la masa

#### Preparación de masa

Para la preparación del pan de tradición mexicano: pan de muerto, se siguió la formulación de la panadería en la localidad de Zacatelco, Tlaxcala (Tabla 1).

**Tabla1.** Formulación original para la elaboración de pan de tradición: pan de muerto.

INGREDIENTE	COMPOSICIÓN (%)
Harina de Trigo	41.1
Huevo	24.4
Azúcar	14.3
Manteca de Cerdo	10.2
Mantequilla	4.0
Levadura	0.4
Leche	5.1
Vainilla	0.4

Debido a que la información sobre este objeto de estudio es muy reducida y poco conocida, se parte de un diseño exploratorio, pues se empieza a conocer el efecto de una variable dentro de un estudio (Hernández, 2010). En este trabajo la variable a conocer es el tipo de grasa sobre el pan de muerto. Por ello a partir de la receta original (Tabla 1) se propusieron cuatro modificaciones en cuanto a la proporción y tipo de grasa (Tabla 2,3,4 y 5), dado que se quiere ver el efecto que tienen estas sobre la masa y el pan para buscar alternativas en la producción del producto.

- ✓ **Tabla 2.** Formulación A: Sustitución total de la manteca de cerdo por la manteca vegetal:

Manteca cerdo	0%
Grasa vegetal	10.2%
Mantequilla	4%

- ✓ **Tabla 3.** Formulación B: Mantener sólo la grasa vegetal:

Manteca cerdo	0%
---------------	----

Grasa vegetal	14.2%
Mantequilla	0%

✓ **Tabla 4.** Formulación C: Mantener sólo la mantequilla:

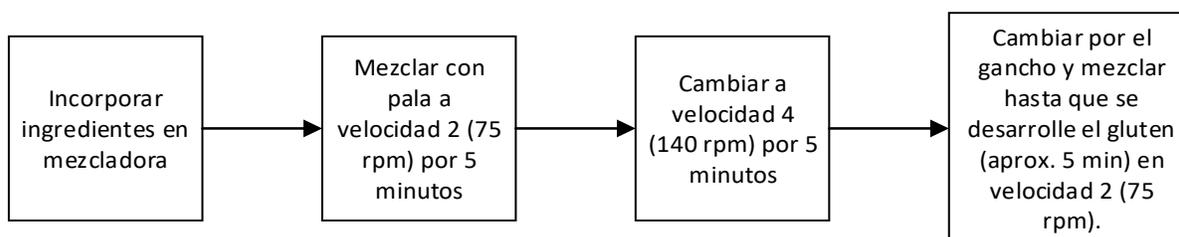
Manteca cerdo	0%
Grasa vegetal	0%
Mantequilla	14.2%

✓ **Tabla 5.** Formulación D: Mantener sólo la manteca de cerdo:

Manteca cerdo	14.2%
Grasa vegetal	0%
Mantequilla	0%

### Mezclado- Formación de masa

Para elaborar la masa, de todas las formulaciones, el procedimiento de mezclado fue el mismo y se realizó en una batidora Kitchen Aid® (Figura 8):

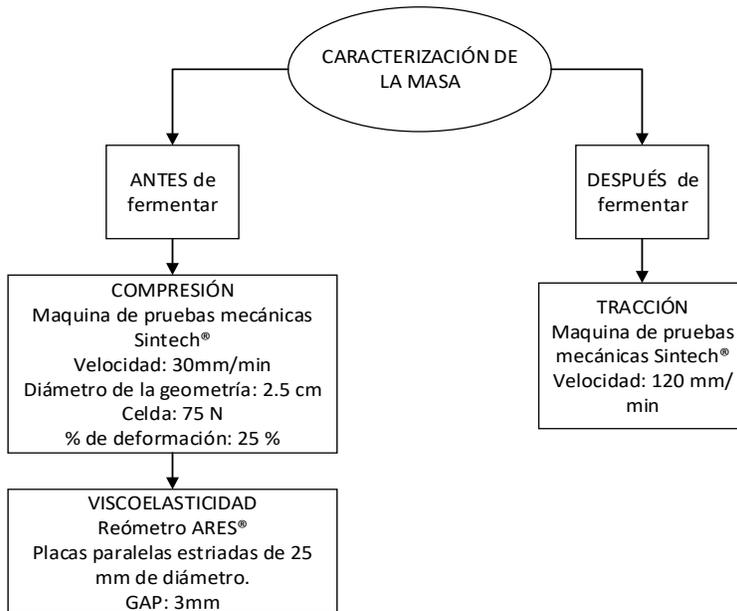


**Figura 8.** Detalles del mezclado en la batidora Kitchen Aid®

### Pruebas reológicas a la masa

A cada formulación de la masa se le realizaron diferentes pruebas reológicas. Para la masa antes de fermentar se estudió su comportamiento ante una compresión y su tendencia viscoelástica. En cambio, a la masa después de fermentar se le

realizaron sólo pruebas de tracción (Figura 9). Para cada prueba se realizaron repeticiones, por ello los resultados son el promedio con su desviación estándar.



**Figura 9.** Pruebas reológicas realizadas a la masa antes y después de fermentarse.

## 2.4 Caracterización del pan de muerto

### Realización de pan

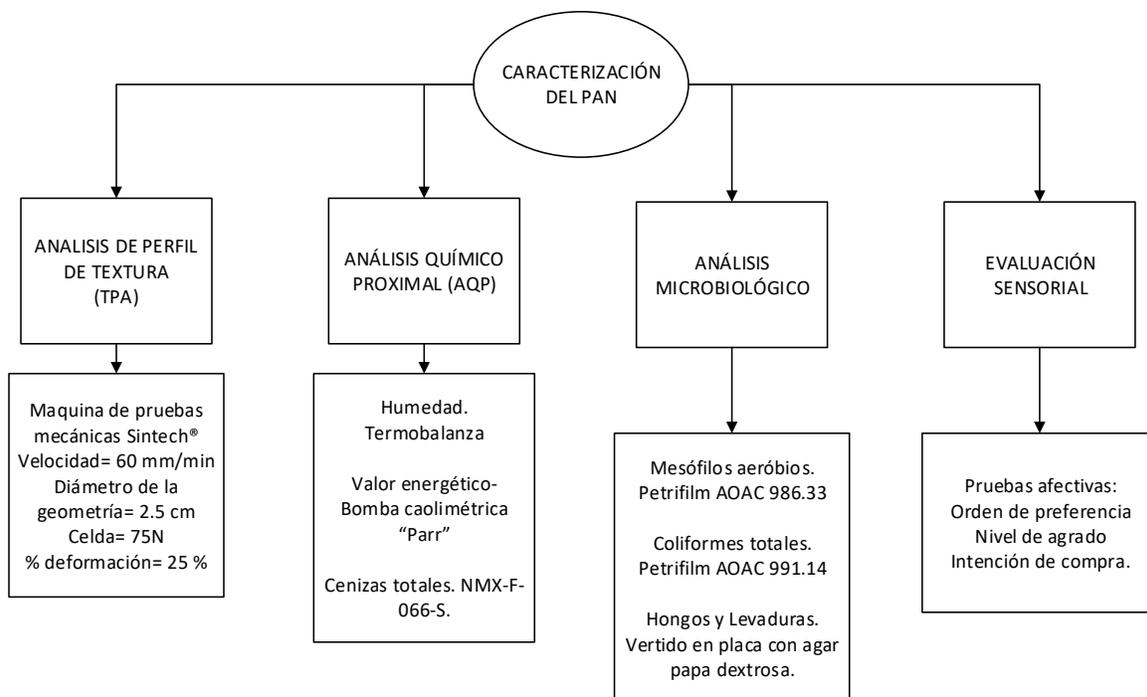
Después del mezclado se procedió a realizar para todas las formulaciones de la masa una fermentación intermedia y posteriormente el horneado de la masa (Figura 10).



**Figura 10.** Proceso de fermentación y horneado con sus respectivos parámetros.

### Determinaciones al producto final

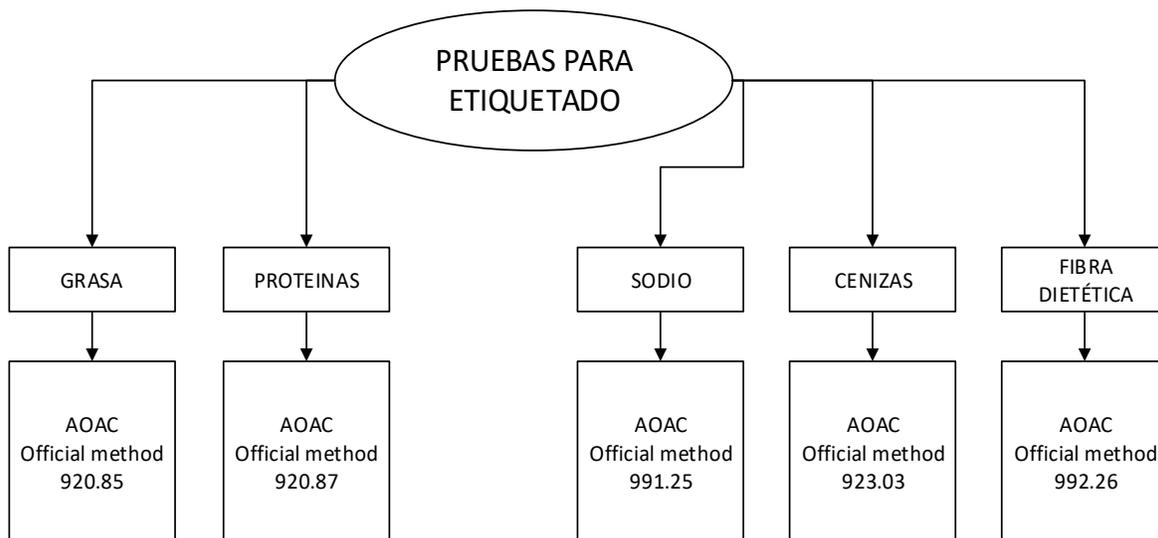
A partir de cada formulación modificada se obtuvieron cinco panes, a los cuales se les determinaron los parámetros de calidad mostrados en la figura 11. Para cada prueba se realizaron repeticiones, por ello los resultados son el promedio con su desviación estándar.



**Figura 11.** Pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales para caracterizar el pan.

### Información nutrimental y etiquetado frontal

Para el pan realizado con la formulación original, se le determinaron los parámetros obligatorios expedidos por la COFEPRIS a partir del 30 de Junio del 2015, los cuales deben ser declarados en la parte frontal del empaque. Así como los valores para la información de la tabla nutrimental (Figura 12).



**Figura 12.** Pruebas bromatológicas para la información nutrimental y de etiquetado frontal.

## **2.5 Análisis estadísticos**

Para la comparación del comportamiento reológico en cuanto a la tracción de la masa antes y después de fermentar entre las cuatro formulaciones, primero se realizó una ANOVA con  $\alpha = 0.05$  % para ver si existía o no una diferencia significativa. En caso de que hubiera una diferencia significativa, se procedió a hacer una prueba de diferencia de medias (DMS) con  $\alpha = 0.05$  % y una distribución T de student. Esto con el fin de saber entre cuáles masas existe dicha diferencia.

Para la comparación entre los panes se evaluó el “Análisis de Perfil de textura” (TPA), en donde por cada parámetro: Dureza, Cohesividad, Elasticidad, Gomosidad y Masticabilidad, se realizó una ANOVA con  $\alpha = 0.05$  % para ver si existía diferencia significativa entre los cinco panes respecto a su comportamiento. En caso de existir una diferencia se realizó una comparación de medias (DMS) con  $\alpha = 0.05$  % y con una distribución T de student.

Para la evaluación sensorial en el pan se realizó la prueba de “Ordenamiento de preferencia” por Friedman. Todos los gráficos se realizaron mediante el software Sigma Plot 2010. Todos los cálculos estadísticos se realizaron mediante el software Microsoft Excel 2016, mostrados en el Anexo.

## CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

**3.11 Pruebas de deterioro lipídico:** A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el deterioro de grasas almacenadas tanto a temperatura ambiente como de temperatura de refrigeración.

#### INDICE DE PERÓXIDOS

**Tabla 6.** Índice de peróxidos para las cuatro grasas a temperatura ambiente (20 a 25 °C)

<b>ÍNDICE DE PERÓXIDOS (meq de O<sub>2</sub>/kg de grasa)</b>						
<b>DÍA</b>	<b>M.C</b>	<b>NMX-F-110-1999</b>	<b>G.V.</b>	<b>NMX-F-373-1985</b>	<b>MANTEQUILLA</b>	<b>NOM-185-SSA1-2002</b>
<b>1</b>	5.1± 0.1	<b>6.0 máx.</b>	6.0±0.2	<b>2.0 máx.</b>	0.0±0.0	<b>NR*</b>
<b>7</b>	9.9±0.08		9.7±0.01		0.0±0.0	
<b>15</b>	14±1.3		12±0.01		5.9±0.0	
<b>22</b>	48±0.15		37±0.1		21±0.1	

\*NR= No Reportado

**Tabla 7.** Índice de peróxidos para las cuatro grasas a temperatura de refrigeración (4 °C)

<b>ÍNDICE DE PERÓXIDOS (meq de O<sub>2</sub>/kg de grasa)</b>						
<b>DÍA</b>	<b>M.C.</b>	<b>NMX-F-110-1999</b>	<b>G.V.</b>	<b>NMX-F-373-1985</b>	<b>MANTEQUILLA</b>	<b>NOM-185-SSA1-2002</b>
<b>1</b>	5.1±0.1	<b>6.0 máx.</b>	5.9±0.02	<b>2.0 máx.</b>	0.0±0.0	<b>NR</b>
<b>7</b>	4.5±0.75		2.5±0.68		0±0.0	
<b>15</b>	7.8±0.03		2.9±0.37		5.9±0.0	
<b>22</b>	48±0.09		31.5±0.1		18±0.2	

\*NR= No Reportado

#### INDICE DE ACIDEZ

**Tabla 8.** Índice de acidez para las tres grasas a temperatura ambiente (20-25°C)

<b>ÍNDICE DE ACIDEZ a temperatura ambiente (20 a 25°C)</b>						
<b>DÍA</b>	<b>M.C.</b>	<b>NMX-F-110-1999</b>	<b>G.V.</b>	<b>NMX-F-373-1985</b>	<b>MANTEQUILLA</b>	<b>NOM-185-SSA1-2002</b>
<b>1</b>	1.3 ±0.01	<b>1 máx.</b>	0.7±0.01	<b>0.15 máx.</b>	0±0.01	<b>NR</b>
<b>7</b>	1.19±0.001		0.86±0.01		0.25±0.0	
<b>15</b>	1.56±0.04		0.92±0.03		0.257±0.01	
<b>22</b>	1.72±0.08		1.43±0.05		1.57±0.01	

\*NR= No Reportado

**Tabla 9.** Índice de acidez para las tres grasas a temperatura de refrigeración (4 °C)

<b>ÍNDICE DE ACIDEZ a temperatura de refrigeración (4 °C)</b>							
<b>DÍ A</b>	<b>M.C.</b>	<b>NMX-F-110-1999</b>	<b>G.V.</b>	<b>NMX-F-373-1985</b>	<b>MANTEQUILLA</b>	<b>NOM-185-SSA1-2002</b>	
<b>1</b>	1.3±0.01	<b>1 máx.</b>	0.7±0.01	<b>0.15 máx.</b>	0±0.01	<b>NR</b>	
<b>7</b>	1.336±0.0		0.85±0.0		2		0.25±0.01
	1		0.85±0.0				
<b>15</b>	1.36±0.06		1		0.235±0.2		
<b>22</b>	1.67±0.1	1.3±0.02	1.605±0.03				

\*NR= No Reportado

**INDICE DE KREISS**

**Tabla 10.** Índice de Kreiss para las tres grasas a temperatura ambiente (20-25 °C)

<b>ÍNDICE DE KREISS a temperatura ambiente (20 a 25 °C)</b>
---

DÍA	M.C	NMX-F-110-1999	G.V	NMX-F-373-1985	MANTEQUILLA	NOM-185-SSA1-2002
1	N	Negativo	N	Negativo	N	Negativo
7	N		N		N	
15	N		N		N	
22	N		P		N	
N: Negativo, P: positivo						

**Tabla 11.** Índice de Kreiss para las tres grasas a temperatura de refrigeración (4 °C)

ÍNDICE DE KREISS a temperatura de refrigeración (4 °C)						
DÍA	M.C	NMX-F-110-1999	G.V	NMX-F-373-1985	MANTEQUILLA	NOM-185-SSA1-2002
1	N	Negativo	N	Negativo	N	Negativo
7	N		N		N	
15	N		N		N	
22	N		N		N	
N: Negativo, P: positivo						

Podemos ver de la tabla 6 a la 11 a las grasas que han tenido un mayor deterioro lipídico, como la manteca de cerdo y la grasa vegetal a temperatura ambiente, pues al día 1 para el índice de peróxidos e índice de acidez ya no cumplen con sus respectivas normas mexicanas, mientras que el índice de Kreiss sí cumple, esto nos indica que todavía no se ha deteriorado hasta formar aldehídos malónicos (Akoh & Min, 2002). Sólo la grasa vegetal hasta el día 22 a temperatura ambiente sí muestra presencia de este aldehído indicándonos presencia de rancidez (Tabla 10). Pero a los 7 días, se detalla en la Tabla 7, que las grasas a temperatura de refrigeración disminuyen su índice de peróxidos, se puede decir que disminuye la velocidad de la oxidación y ninguna llega a rancidez a los 22 días.

Respecto a la mantequilla no hay referencia en normas mexicanas sobre sus límites de deterioro oxidativo, de acuerdo con una investigación en la universidad de Argelia, se indica que el índice de peróxidos para la mantequilla producida a base de leche de vaca presenta un intervalo de 1.6 a 4 meq O<sub>2</sub>/kg y su acidez de 0.23 a 0.31 % (Idoui & Benhamada, 2010).

Respecto a los resultados obtenidos de la tabla 6 y 7 vemos que no hay presencia de peróxidos sino hasta los 15 días para la mantequilla a las dos temperaturas de almacenamiento, sobrepasando una unidad el valor de la referencia citada, pero incluso esta es la grasa que presentó menor índice de peróxidos a los 22 días.

En cuanto al índice de peróxidos e índice de acidez para todas las grasas (Tabla 8 y 9) se observa que aumenta bastante del día 15 al 22. Esto se debe a que después de un período de tiempo los enlaces insaturados absorben una cantidad mayor de oxígeno favoreciendo la producción de peróxidos y las reacciones de enranciamiento (Akoh y Min, 2002)

Los ácidos grasos saturados, como el butírico, presentan mayor estabilidad ante la oxidación en comparación con los ácidos grasos insaturados, como el oleico, linoleico y linolénico, esto se debe principalmente a las insaturaciones (Badui, 2006). Debido a que la mantequilla tiene mayor presencia de ácidos grasos saturados, ésta presenta mayor estabilidad que las otras tres grasas, las cuales tienen mayor cantidad de ácidos grasos insaturados (Fennema, 1996).

Respecto a las temperaturas de almacenamiento se corrobora que la de refrigeración retrasa el deterioro lipídico, pues siempre muestra valores un poco más bajos de peróxidos y acidez en las cuatro grasas, además de que el Índice de Kreiss nunca fue positivo a esta temperatura. Por ello, cuando se quiera hacer uso de alguna de estas tres materias primas, lo recomendable sería almacenarlas en refrigeración y utilizarse en menos de quince días para evitar un deterioro lipídico oxidativo.

### 3.12 Pruebas Fisicoquímicas

**Tabla 12.** Análisis de humedad y punto de fusión para la manteca de cerdo, grasa vegetal y mantequilla con sus respectivas normas mexicanas.

<b>Análisis</b>	<b>M.C</b>	<b>NMX-F-110-1999</b>	<b>G.V</b>	<b>NMX-F-373-1985</b>	<b>MANTEQUILL A</b>	<b>NMX-F-010-1982</b>
<b>Humedad (%)</b>	0.36±0.1	<b>1 máx.</b>	0.17±0.1	<b>0.1 máx</b>	14±0.3	<b>16.0 máx</b>
<b>Punto fusión (°C)</b>	37±0.0	<b>40 máx</b>	48±0.0	<b>50 máx</b>	38±0.0	<b>30-38</b>

De acuerdo con la tabla 12, las tres grasas presentaron un punto de fusión de acuerdo con lo establecido en la norma, lo cual indica una pureza en la muestra y por tanto pueden utilizarse para la elaboración de pan de muerto.

La humedad excedida en grasas nos indicará el riesgo de una descomposición microbiana (Bailey, 1984). En la tabla 12 vemos que sólo la grasa vegetal se excede por 0.7 de la norma mexicana, este pequeño aumento es despreciable y puede deberse a su almacenamiento en refrigerador.

**Tabla 13.** Análisis de humedad, cenizas, proteína y gluten para la harina de trigo de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-007-1982.

<b>Análisis</b>	<b>Harina de trigo</b>	<b>NMX-F-007-1982</b>
<b>Humedad (%)</b>	10 ±0.3	<b>14% Máx.</b>
<b>Cenizas (%)</b>	0.6 ±0.1	<b>0.55máx grado I, 0.4-1.0 grado II, 0.6máx. grado III</b>
<b>Proteína (%)</b>	12±0.1	<b>9.5 mín</b>

<b>Gluten (%)</b>	24.3± 0.2	<b>31.3 mín</b>
-------------------	-----------	-----------------

Cuando la harina muestra un valor excedido en su valor de humedad, nos indicará que hay un riesgo en el desarrollo microbiano e incluso puede indicar presencia de insectos vivos. Sin embargo, en la tabla 13 se observa que la harina mostró una humedad aceptable, con la cual se puede trabajar.

La harina con la que se trabajó está fabricada para productos de panificación, es decir de grado I. En la tabla 13 se observa que las cenizas están a decimas arriba de lo establecido, lo cual no es significativo puesto a que es un promedio, este pequeño aumento pudiera deberse que en ese lote de harina habría una ligera entrada de salvado de trigo ocurrido en la operación del tamizado (Barrera, 2012).

En la harina, las proteínas que contienen son albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas. Las proteínas que conforman al gluten: Gliadinas y gluteninas, al estar en presencia con agua hacen factible que se forme la malla que va a expandirse en la fermentación. En cuanto a las otras proteínas tienen una funcionalidad metabólica y estructural. Esta fracción es de suma importancia para obtener un pan de buena calidad (Mesas, 2002), por ello en la Tabla 13 se observa que en esta harina la fracción de proteína sí entra en lo establecido en la norma mexicana.

Sin embargo, en la Tabla 13 se muestra que el valor de gluten es bajo respecto a la norma, por lo que hay una baja concentración de gliadinas y gluteninas; y esto se vería afectado en el crecimiento de la miga (Mesas, 2002).

**Tabla 14.** Análisis de frescura para el huevo y leche con sus respectivas normas mexicanas.

<b>Análisis</b>	<b>Huevo</b>	<b>NOM-159-SSA1-1996</b>	<b>Leche entera</b>	<b>NOM-155-SCFI-2012</b>
<b>pH</b>	6.94	<b>6.8</b>	6.79	<b>NR</b>
<b>Acidez</b>	---	<b>NR</b>	1.44	<b>1.3-1.7</b>

En cuanto a la frescura del huevo y leche, medidos a partir del pH o acidez, mostraron valores dentro de sus normas. Por lo que su uso es factible en la elaboración del pan.

### 3.13 Pruebas Microbiológicas

**Tabla 15.** Análisis de mesófilos aerobios y coliformes totales para las tres grasas y el huevo con sus respectivas normas mexicanas, almacenados a una temperatura de refrigeración (4 °C).

DETERMINACIONES MICROBIOLÓGICAS								
Análisis	M.C	NMX-F-110-1999	G.V	NMX-F-373-1985	Mantequilla	NMX-F-010-1982	Huevo	NOM-159-SSA1-1996
<b>Mesófilos Aerobios</b>	280 UFC/ml Valor estimado	<b>NR</b>	250 UFC/ml Valor estimado	<b>NR</b>	120 UFC/g Valor estimado	<b>10000 UFC/g máx.</b>	150 UFC/g Valor estimado	<b>100000 UFC/g máx.</b>
<b>Coliformes Totales</b>	100 UFC/ml Valor estimado	<b>NR</b>	0 UFC/ml	<b>NR</b>	0 UFC/g	<b>10 UFC/g máx</b>	10 UFC/g máx	<b>50 UFC/g</b>

En los alimentos, el análisis de microorganismos es fundamental para la calidad en la materia prima, pues estos pueden marcar una diferencia en la vida de anaquel o incluso indicar si hay patógenos que pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos o ETA's.

En la Tabla 15 los valores estimados indican que el conteo de colonias está por debajo del intervalo que se puede observar en la caja Petri o en el Petrifilm®, por ello a las dos semanas de obtención de las tres grasas y el huevo, el conteo de mesófilos aerobios y coliformes totales entran en los límites establecidos en sus respectivas normas, indicándonos que estas materias primas se pueden utilizar sin riesgo.

### 3.14 Pruebas Sensoriales

**Tabla 16.** Pruebas cualitativas de sabor, aroma, textura, aspecto y color para las tres grasas con sus respectivas normas mexicanas.

<b>DETERMINACIONES SENSORIALES</b>
------------------------------------

Determinación	M.C	NMX-F-110-1999	G.V	NMX-F-373-1985	Mantequilla	NMX-F-010-1982
<b>Aroma</b>	Dulce	<b>Característico</b>	Característico	<b>Característico</b>	Característico	<b>Característico</b>
<b>Sabor</b>	Característico	<b>Característico</b>	Característico	<b>Característico</b>	Característico	<b>Característico</b>
<b>Textura</b>	Grasosa	<b>Grasosa</b>	Grasosa	<b>Grasosa</b>	Grasosa	<b>NR</b>
<b>Aspecto</b>	Heterogéneo: Con manchas oscuras	<b>Característico</b>	Homogéneo, sólido	<b>Semi-sólido 24°C</b>	Homogéneo, sólido	<b>NR</b>
<b>Color</b>	L: 72.2, $\sigma$ : 0.66 a: 0.353, $\sigma$ : 0.125 b: 12.79, $\sigma$ : 0.217 Pantone: 7506C	<b>Blanco, con ligero color amarillo pálido o café claro</b>	L: 87.2, $\sigma$ : 1.59 a: -1.866, $\sigma$ : 0.197 b: 6.0, $\sigma$ : 0.766 Pantone: NR	<b>Blanco, característico del producto</b>	L: 86.2, $\sigma$ : 0.127 a: 4.951, $\sigma$ : 0.127 b: 37.31, $\sigma$ : 0505 Pantone: 127 U	<b>Desde amarillo paja hasta amarillo brillante</b>

Las pruebas sensoriales realizadas a las dos semanas después de obtenerlas se muestran en la Tabla 16 dentro de los límites de las normas con excepción de la manteca de cerdo, ya que tenía un aroma más dulce de lo normal, posiblemente la vendan como manteca para panificación añadiéndole un endulzante. Respecto al color, se puede observar que la grasa que tiende a un color más blanco o luminoso es la margarina, seguido de la vegetal, la mantequilla y por último la grasa animal (más opaca). Mientras que en la tendencia al color amarillo se encuentra primero la mantequilla, luego la margarina, la grasa animal y por último la vegetal. Algunas grasas como la mantequilla tienen colorantes naturales como el extracto de annato y esto se verá reflejado al momento de elaborar el pan (Badui, 2006).

### **3.2 MASA**

Después del mezclado de los ingredientes, se procedió a analizar el comportamiento reológico de la masa antes y después de fermentarse para las cinco formulaciones.

#### **3.21 Masa antes de fermentar:**

Pruebas en la máquina de pruebas mecánicas Sintech®

**Tabla 17.** Pruebas reológicas de la masa antes y después de fermentarse.

Formulación	Compresión (a.f)		Simulación de un extensógrafo (a.f)	
	Módulo Young (Pa)	C.V (%)	Fuerza máxima (N)	C.V (%)
<b>F.O</b>	177.3±11.74	6.62	0.16±0.01	8.8
<b>F.A</b>	294.2±19.69	6.7	0.37±0.09	25.2
<b>F.B</b>	212.6±6.94	3.2	0.35±0.03	7.3
<b>F.C</b>	175.6±13.41	7.6	0.32±0.05	14.3
<b>F.D</b>	247.9±15.63	6.3	0.24±0.01	2.4

a.f: antes de fermentar, d.f: después de fermentar

Inicialmente se realizaron pruebas de tracción a la masa antes de fermentar con la finalidad de obtener una gráfica de esfuerzo contra deformación para obtener “el módulo de Young”, pendiente en el gráfico. Este valor proporciona la capacidad que tiene la masa en resistir una deformación en el rango lineal. En donde la masa fue laminada con 5 cm de altura, 0.4-0.6mm de espesor y 1 cm de ancho.

La prueba reológica llevada a cabo fue del tipo extensional uniaxial, es decir, la masa se extiende en una dirección (Dobraszczyk, 2003), mientras que la respuesta al final de la prueba es en dos direcciones perpendiculares a un plano y por ello el rectángulo de la masa se quiebra.

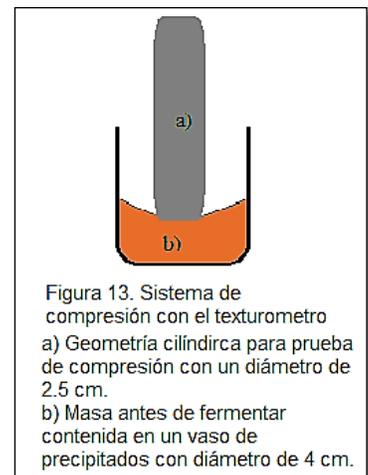
A partir de los datos reológicos obtenidos: Fuerza contra extensión del desplazamiento, se obtienen ecuaciones constitutivas para mostrar la relación que hay entre el esfuerzo (Pa) y la deformación de Cauchy (Rodriguez, 2005). A partir de estos dos valores se construyen los diagramas de esfuerzo/deformación, a partir

de los cuales se obtiene el valor de ruptura de esfuerzo, el cual indica que es el valor máximo de esfuerzo para que pueda emplearse la Ley de Hooke (1).

$$\sigma = E \epsilon \quad (1)$$

De la ecuación (1) el coeficiente E es el módulo de Young del material. Y a partir de esta ecuación se sabe que el esfuerzo ( $\sigma$ ) es directamente proporcional a la deformación ( $\epsilon$ ).

Sin embargo, los resultados no fueron interpretables para todas las masas antes de fermentarse, pues en los gráficos obtenidos se obtiene una excesiva presencia de ruido y por ello no es posible obtener una pendiente (ver Anexo I). Por lo que se decidió realizar pruebas de compresión a la masa antes de fermentar para obtener los resultados deseados. Esta prueba reológica consiste en presionar un pedazo de masa con un cilindro de 2.5 cm de diámetro a una velocidad 30mm/min sobre la masa contenida en un vaso de precipitados con un diámetro mayor para la posible penetración del cilindro (Figura 13). De esta manera sí fue posible obtener el módulo de Young para cada masa como se muestra en la tabla 17.



El módulo de Young ( $E$ ) indica la capacidad que tiene un material, en este caso la masa, de resistir una deformación.

En el estudio del comportamiento del pan, la masa con valores altos del Módulo de Young indica un comportamiento

altamente elástico, en cambio valores muy bajos indican una masa con fracturabilidad e incluso indica falta de agua (Lazaridou, 2006). Por ello lo considerable en una masa es tener valores intermedios de este indicador.

Debido a que no hay estudios realizados de este indicador para este objeto de estudio, el experimento es exploratorio y por ello al hacer una comparación visual de la tabla 17 se observa que la masa original y la formulación C mostraron valores más bajos ante la formulación A, B y D.

Para poder ver si existe una diferencia significativa entre estos valores de compresión en la masa antes de fermentar (Tabla 17), se realizó un análisis

estadístico “ANOVA” y se concluye que sí hay una diferencia significativa entre los valores del módulo de Young en la masa antes de fermentar. Para saber en dónde radica esta diferencia entre formulaciones se realizó una prueba de diferencia de medias con una distribución de T de Student (ver ANEXO II). De acuerdo con esos resultados, la formulación A, B y D difieren de la formulación original. Mientras que la formulación C actúa de una manera similar a la original. Si se sabe que en estas dos difiere la presencia de la manteca de cerdo, esto indicaría que la mantequilla influye en el comportamiento de la masa ante la resistencia de una deformación.

Las propiedades de tracción o de elasticidad también se pueden determinar con técnicas empíricas descriptivas, las cuáles proveen datos necesarios durante el procesamiento del producto como los extensógrafos y alveógrafos (Dobraszczyk, 2003). Por ello fueron realizadas pruebas de extensión simulando a un extensógrafo, donde no hay un área determinada, es decir, solamente a una cantidad determinada de masa se le extendió hasta obtener una fuerza máxima. A partir de este ensayo reológico sólo se obtiene la fuerza máxima que resiste la masa en un tiempo determinado, así se puede medir la resistencia de la masa a la tensión hasta llegar al rompimiento de la misma. La desventaja de este método radica en la falta de valores de esfuerzo. Sin embargo, en esta investigación se determinaron las fuerzas máximas que resultaron para cada formulación.

En la tabla 17 se muestran los valores de fuerza máxima para cada formulación, siendo la de mayor fuerza la formulación C, la cual sólo contiene mantequilla, mientras que la de menor fuerza es la formulación original. Para comparar cuál de las formulaciones obtuvo un comportamiento parecido a la original, se realizó un análisis estadístico ANOVA, en la cual sí hubo una diferencia significativa (ver ANEXO-II). Con la prueba de DMS se observa que la formulación original presenta diferencia significativa con todas las demás formulaciones, esto significa que el comportamiento de la masa original ante una tracción es única para esta formulación.

De acuerdo con lo mencionado y observado en los análisis estadísticos (Anexo I y II), todas las formulaciones muestran una variabilidad entre ellas mismas debido a su naturaleza química y además al no poder medir el Módulo de Young por medio

de una tracción uniaxial y sólo por una compresión, indica una sensibilidad en el método. Por ello el Módulo de Young en la masa antes de fermentar no resulta ser un buen indicador de calidad

Para la comparación entre masas y poder sustituir a la manteca de cerdo en la elaboración del pan de muerto, se puede observar con los análisis estadísticos que la formulación C es la que se acerca más a un comportamiento similar al de la original. Por ello, si se quisiera sustituir por completo a la manteca de cerdo para tener características de resistencia a la deformación en la masa, calculados con el Módulo de Young, se tendría que usar la formulación C donde sólo hay presencia de mantequilla.

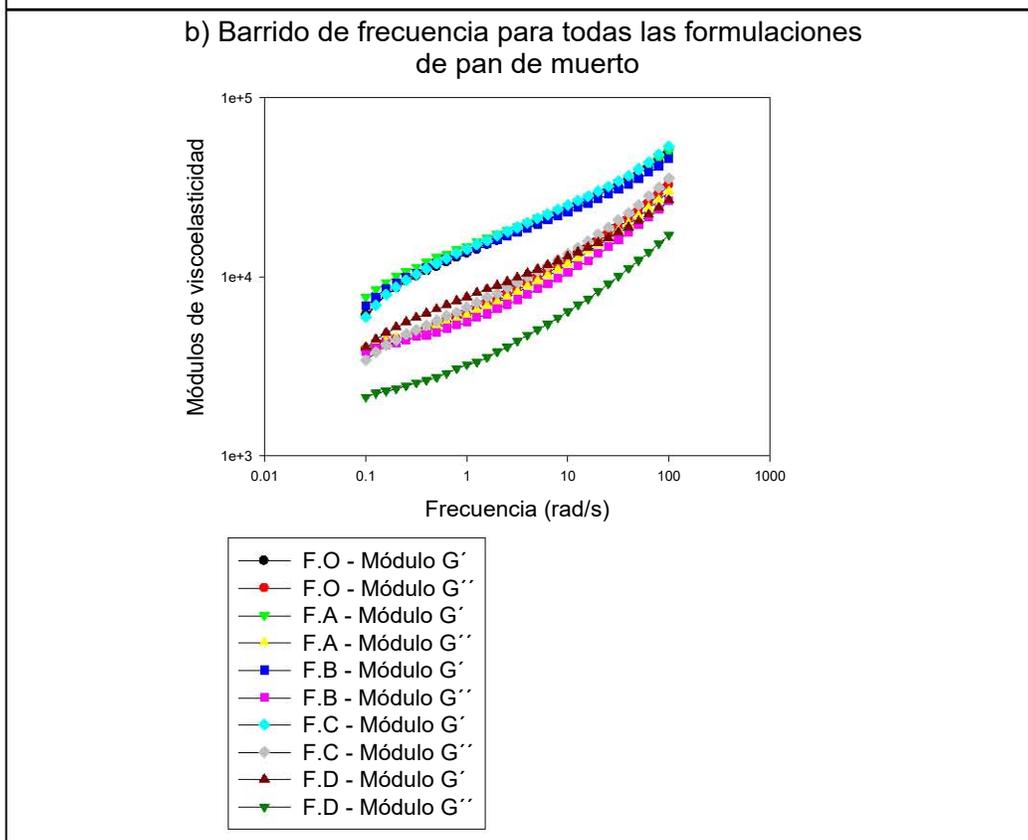
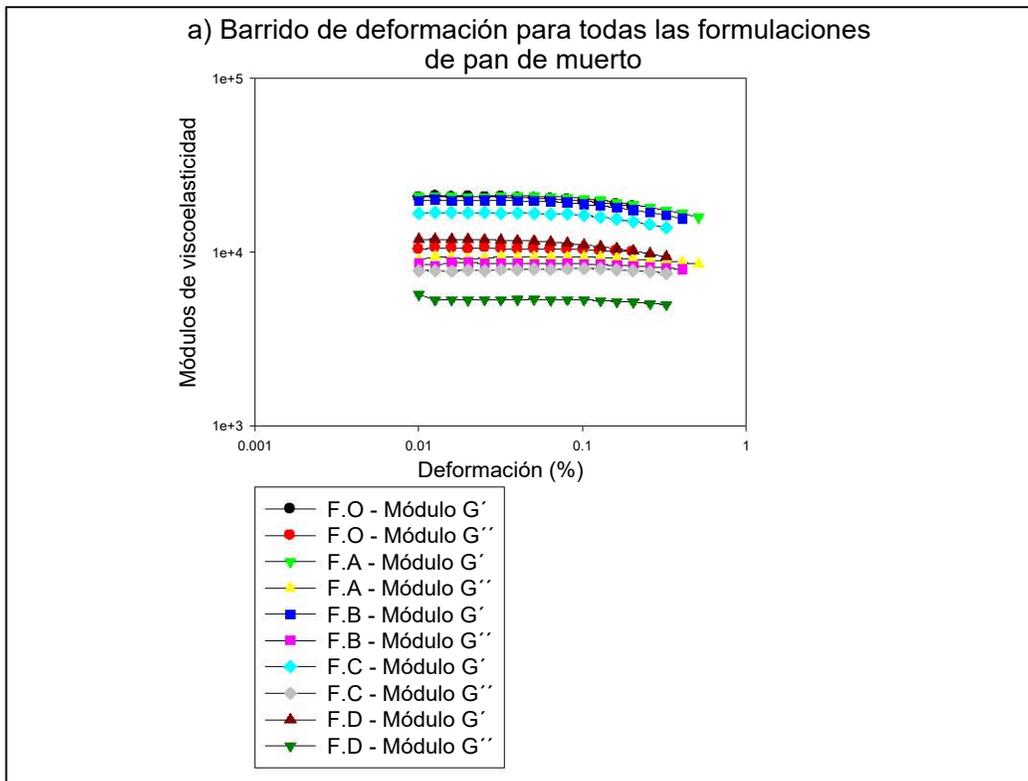
### Pruebas en el reómetro

A la masa también se le estudió su comportamiento reológico en cuanto a su viscoelasticidad a partir de pruebas oscilatorias con un reómetro de deformación controlada usando una geometría de placas paralelas estriadas de 25mm de diámetro con una separación (GAP) de 3.002mm y a una temperatura regulada a 25°C por medio de un baño de agua. Las masas fueron sometidas a variaciones armónicas de deformación y esfuerzo; y a partir de esos valores se obtuvieron dos parámetros: El módulo de elasticidad o almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de viscosidad o de pérdida ( $G''$ ) (Steffe, 1996).

En la figura 14 se muestran las gráficas obtenidas de los comportamientos ante esta prueba reológica para cada formulación.

A partir de la relación entre los dos módulos ( $G'$  y  $G''$ ), se obtuvo el parámetro tangente de delta " $\tan(\delta)$ " indicando la tendencia viscoelástica de un material obtenida a partir de la ecuación (2), además se construyó el gráfico correspondiente (Figura 15).

$$\tan(\delta) = \frac{G'}{G''} \quad (2)$$



**Figura 14.** Viscoelasticidad para las diferentes formulaciones de la masa antes de fermentar.

- a) Barrido de deformación para todas las formulaciones
- b) Barrido de frecuencia para todas las formulaciones

En el inciso “a” de la Figura 14 se muestra el gráfico del barrido de deformación para todas las formulaciones del pan de muerto. Cabe señalar para esta determinación, que la frecuencia es constante ( 1Hz o 6.28 rad/s).

Se observa que para cada formulación siempre hay valores más altos del módulo de elasticidad ( $G'$ ) y valores menores para el módulo de viscosidad ( $G''$ ). Esto significa que la masa antes de fermentar tiene un comportamiento más elástico que viscoso en la zona de viscoelasticidad lineal (Zheng, 2000).

En la Figura 14, inciso “b”, se muestra el gráfico de barrido de frecuencia para todas las formulaciones del pan de muerto, en las cuales se tiene un porcentaje de deformación constante. En esta, de igual manera, se puede observar que para cada formulación siempre son mayores los valores de elasticidad y son menores los de viscosidad.

Además, tanto en el inciso “a” como en el “b” se puede observar que la única formulación que está desfasada en sus módulos de viscoelasticidad ( $G'$  y  $G''$ ) respecto a las demás es la F.D, teniendo siempre valores más bajos. Esta formulación tiene solamente manteca de cerdo, mientras que la F.O además de tener manteca de cerdo, tiene mantequilla. Esto significa que la mantequilla proporciona a la masa una mayor viscoelasticidad que la manteca de cerdo.

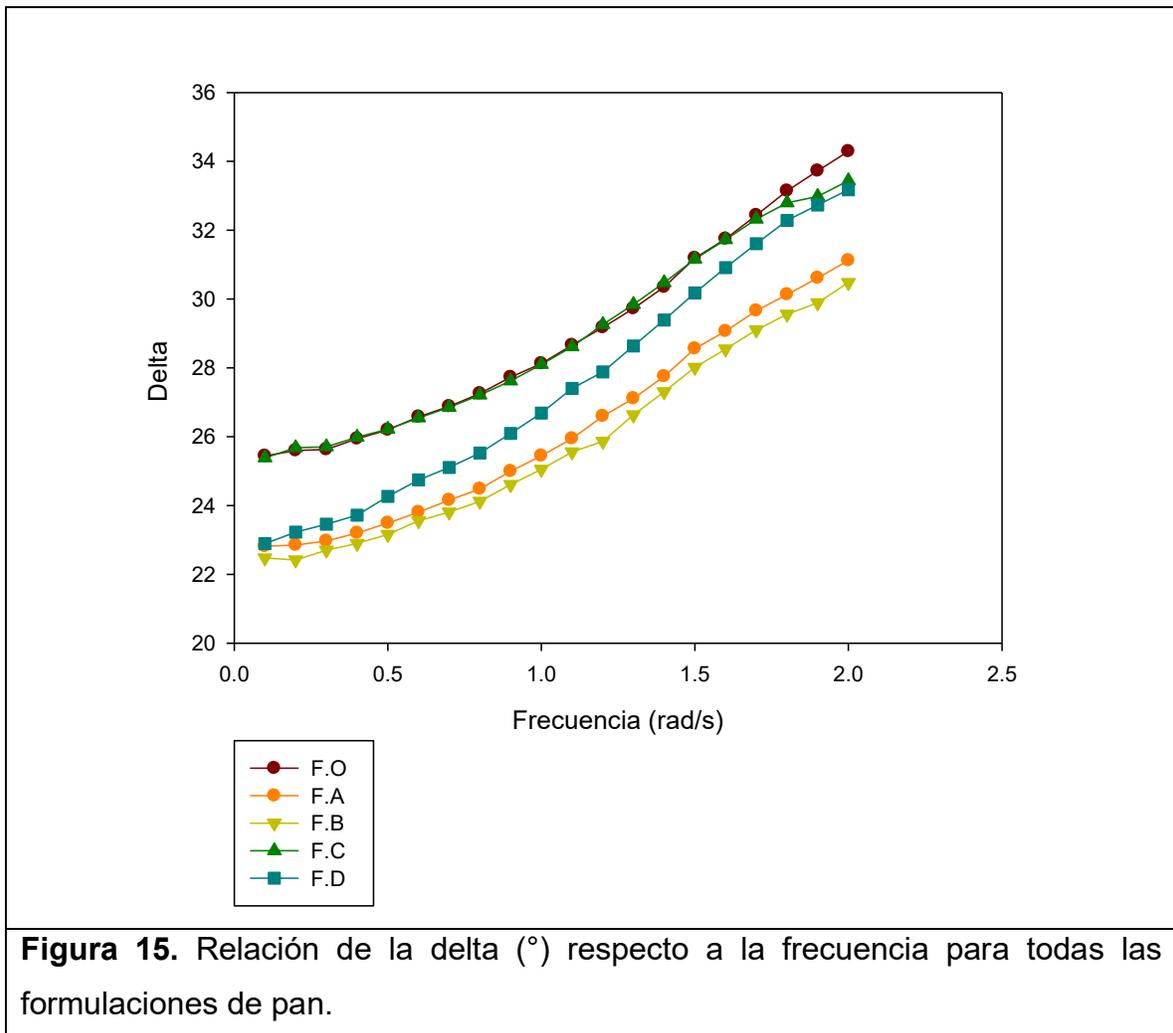
De acuerdo con investigaciones desarrolladas en masas para galletas, se indica que la viscosidad disminuye conforme se aumenta el nivel de insaturaciones en las grasas (Devi, 2016). Esto significaría que si el nivel de insaturaciones de las grasas es menor, se mostrarán valores bajos de viscosidad.

Para observar la tendencia general de viscoelasticidad para las cuatro formulaciones y la original, se realizó un gráfico de la zona de viscoelasticidad lineal donde se relaciona el ángulo delta de la tangente respecto a la frecuencia de deformación (Figura 15). En este gráfico se observa que la tendencia de la curva en todas las formulaciones es creciente, indicando que conforme aumenta la

frecuencia aumentan los grados de delta, esto significa que las masas tienden a adquirir un comportamiento elástico.

Cuando el ángulo delta muestra valores hacia los  $0^\circ$ , es indicio de un material con comportamiento rígido en una deformación, mientras que los valores de delta que tienden a  $90^\circ$  se trata de un material sin resistencia, en las masas de trigo para la elaboración de pan, se prefiere un balance en las propiedades de viscoelasticidad para asegurar un óptimo desarrollo del pan (Lazaridou, 2006).

En la masa del pan de muerto, se observa que la tendencia es hacia un material elástico, pero no demasiado, pues la delta ronda entre los  $20\text{-}35^\circ$ . Esto nos indica que la masa no resulta muy húmeda y tampoco muy rígida, sino es estable para poder trabajar con ella.



**Figura 15.** Relación de la delta ( $^\circ$ ) respecto a la frecuencia para todas las formulaciones de pan.

### 3.22 Masa después de fermentar

Después de que la masa fue fermentada, también se evaluó la extensión de esta para cada masa con el texturómetro con la misma geometría que la masa antes de fermentar. En este caso, los resultados sí fueron interpretables, pues se puede ver en el gráfico de esfuerzo vs extensión que además de no haber tanto ruido, existe un esfuerzo de ruptura máximo (ANEXO III). Por lo que para cada formulación se obtuvieron valores tanto de esfuerzo máximo de ruptura como de módulo de Young mostrados en la Tabla 18:

**Tabla 18.** Pruebas reológicas de la masa con el texturómetro después de fermentar

Formulación	Extensión después de fermentar (d.f)			
	Módulo Young (Pa)	C.V (%)	Esfuerzo de ruptura (Pa)	C.V (%)
F.O	9.9±2.4	24.42	54.19±4.8	8.84
F.A	7.9±3.4	29.95	38.11±4.9	12.81
F.B	13.0±1.9	14.31	67.31±5.7	8.53
F.C	7.2±1.4	18.9	53.33±4.7	8.81
F.D	9.7±2.1	21.75	43.76±4.6	10.52

En la Tabla 18 se observa que la formulación B fue la que obtuvo mayores valores tanto de esfuerzo máximo como de módulo de Young. Esto significa que esta masa, la cual sólo tiene grasa vegetal, presenta mayor capacidad de resistir a una deformación en el intervalo lineal.

Para saber cuál de las formulaciones tuvo un comportamiento similar a la masa original en las pruebas de extensión, se realizó un análisis estadístico ANOVA con el cual sí hubo una diferencia significativa. Y con la prueba de DMS se observa que la F.O sólo difiere con la F.B (ver ANEXO IV). Pues entre estas dos la naturaleza química de las grasas es diferente, ya que la F.O tiene manteca de cerdo y mantequilla, mientras que la F.B tiene sólo manteca vegetal.

De acuerdo con el análisis estadístico realizado con la diferencia de medias, se puede observar que el módulo de Young es muy sensible como indicador para la masa debido a la naturaleza de los ingredientes.

Además, cuando la masa no ha sido fermentada no es una opción el medirle este parámetro a partir de la extensión uniaxial. En todo caso se tendría que medir después de fermentarse pues ocurre una expansión del volumen de la masa, además de que se permite la formación de la red de gluten, la grasa por naturaleza interactúa con estas proteínas cubriéndolas y haciéndolas más resistentes (Devi, 2016). Por lo que cuando la masa está fermentada sí es posible realizarle la prueba reológica de extensión biaxial.

Por lo general se considera que las grasas insaturadas, como la manteca vegetal, tienen mayor poder de cobertura hacia el gluten (Devi, 2016). Esto explicaría porque la formulación B difiere en su comportamiento respecto a las demás mostrando una mayor resistencia cuando la masa es fermentada.

Por ello las pruebas mecánicas realizadas no pueden ser un buen indicador de calidad para la masa antes y después de fermentar.

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DEL PAN DE MUERTO**

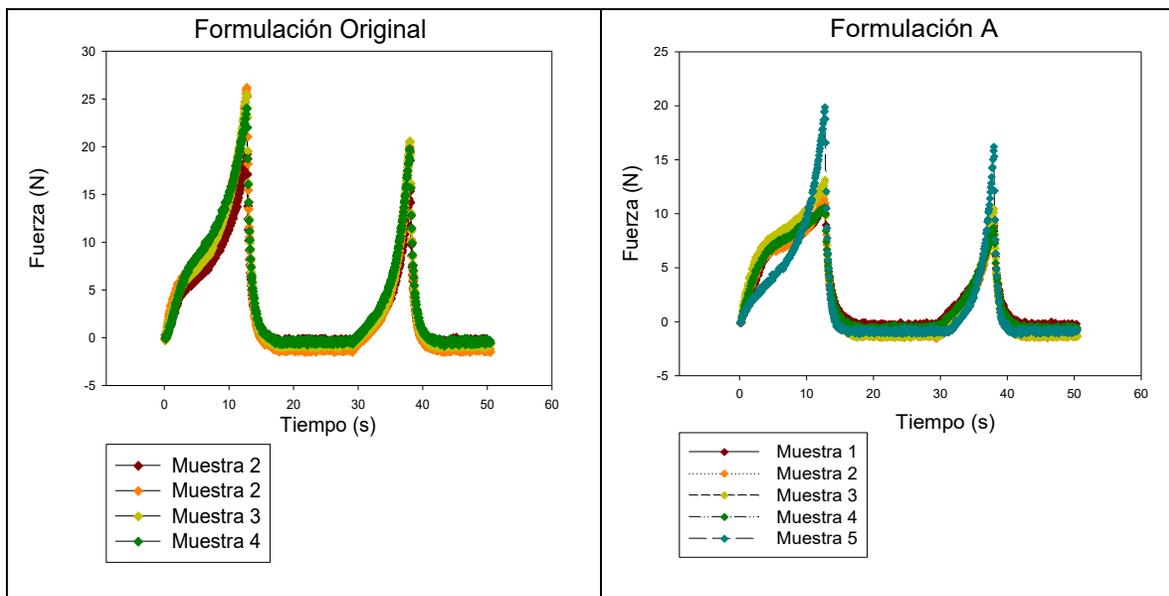
#### **3.31 Análisis de perfil de textura (TPA)**

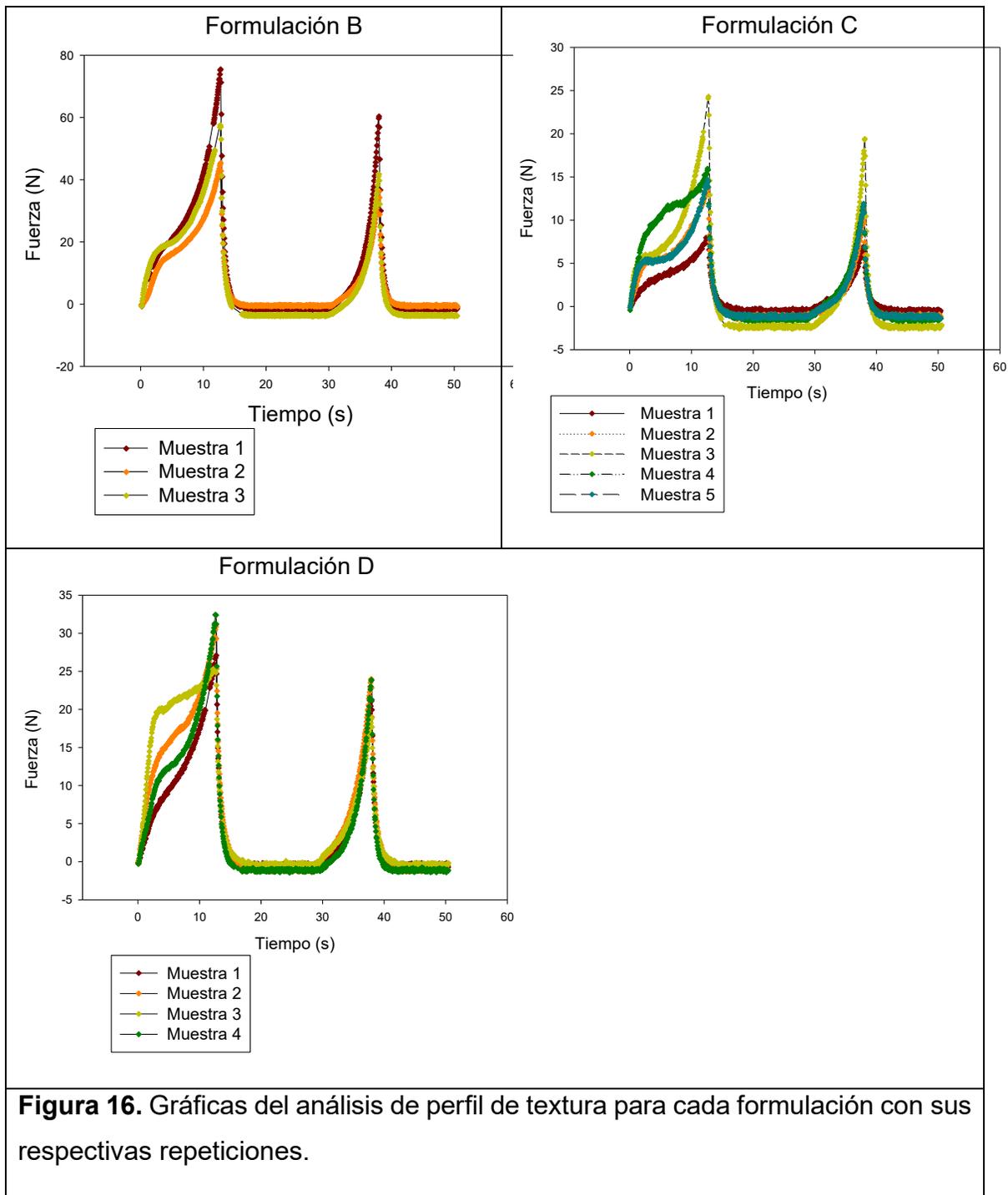
A las cinco formulaciones de pan se les realizaron mediciones de textura de los cuales sólo se obtuvieron los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. No hubo señales de una fracturabilidad en ninguna formulación, este parámetro se define como la fuerza en el primer quiebre en la curva de la primera compresión y debido a que la miga de pan no se quiebra, sino se desbarata, no se tienen valores para este parámetro. En cuanto a la adhesividad, en la Figura 16 se observa que para todas las formulaciones fue despreciable, esto significa que a miga del pan no muestra una resistencia ante la compresión de una mordida.

En cuanto a los valores de los parámetros de Dureza, Cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19.** Pruebas de textura para las cinco formulaciones.

FORMULACIÓN	DUREZA (N)	COHESIVIDAD (adimensional)	ELASTICIDAD (adimensional)	GOMOSIDAD (N)	MASTICABILIDAD (J)
F.O	23.8 ± 3.11	0.31 ± 0.1	2.986 ± 0.011	7.915 ± 0.89	23.61 ± 2.64
F.A	13.3 ± 3.8	0.202 ± 0.04	2.988 ± 0.004	2.952 ± 1.05	8.82 ± 3.13
F.B	43.74 ± 2.5	0.285 ± 0.007	2.99 ± 0.000	9.81 ± 4.82	51.35 ± 16.67
F.C	17.1 ± 4.9	0.176 ± 0.06	2.99 ± 0.007	2.418 ± 0.412	7.23 ± 1.22
F.D	29.0 ± 3.3	0.2475 ± 0.05	2.9975 ± 0.005	7.2 ± 1.47	21.58 ± 4.4





**Figura 16.** Gráficas del análisis de perfil de textura para cada formulación con sus respectivas repeticiones.

De la Tabla 19 se puede observar que la formulación B presenta en todos los parámetros el mayor valor. Por lo mencionado anteriormente en las pruebas de extensión uniaxial después de fermentar, la grasa vegetal proporciona un mayor recubrimiento a las proteínas de la harina. Por lo que ahora en el pan, esta grasa

se manifiesta de manera que brinda valores altos de dureza, cohesividad, gomosidad y masticabilidad.

Debido a que se pretende observar cual formulación es la que presenta un comportamiento similar a la original, se realizó un análisis estadístico ANOVA al  $\alpha=0.05\%$  para cada parámetro de textura y así determinar las diferencias significativas con una prueba de DMS (ver ANEXO V).

En el parámetro de dureza se observa que todas las formulaciones mostraron diferencia significativa entre sí, es decir, cada proporción de grasa en cada formulación actúa de una manera única cuando se aplica fuerza en el primer ciclo de compresión en el pan.

En cuanto a la cohesividad, no hay diferencia significativa entre la F.O y la F.B, así como la F.O y la F.D. Esto significa que la formulación B y la D tienen un comportamiento similar ante la formulación original. Esto indica que tienen una habilidad similar para soportar ruptura bajo una compresión, es decir la fuerza con la que están unidas las partículas es similar (González, 2014).

La elasticidad fue el único parámetro que no presentó diferencia significativa entre ninguna formulación. Este parámetro define la recuperación del alimento, en este caso del pan, a su tamaño original en el primer periodo de tiempo entre la primera y segunda compresión. Por lo que todas las formulaciones actúan de igual manera independientemente de las grasas que contengan.

En cuanto a la gomosidad y masticabilidad, la formulación original muestra un comportamiento similar con la formulación D. La única diferencia que radica en estas dos formulaciones es la presencia de mantequilla, por lo que el tener un 4.07% de esta grasa o no tenerla, no afectaría en estos parámetros.

En la Figura 16 se observa una tendencia de variabilidad en la primera respuesta de la curva para todas las formulaciones. Esta variación entre la misma muestra puede deberse a lo siguiente: La corteza del pan, pues remanencias de corteza en el cubo de pan cortado pueden afectar la fuerza en el primer quiebre. Es necesario evaluar a la corteza, puesto que al morder el pan es tanto miga como corteza.

Con todos los resultados de textura en el pan y los respectivos análisis estadísticos (ANEXO V) se observa que el comportamiento será distinto en todas las masas para cada formulación a excepción de la elasticidad. También se observa que en cada parámetro del TPA hay diferencia entre las formulaciones. Por lo que no se puede decir si hay un parecido entre una u otra formulación, ya que el TPA es un simulador de la mordida y no se puede aislar alguno de esos parámetros. En todo caso tendría que haber semejanza en todos los parámetros de textura para poder decir que hay similitud entre formulaciones. Por lo que al resulta ser un método sensible, no resulta ser un buen indicador de calidad.

### 3.32 Análisis químico proximal

**Tabla 20.** Análisis de humedad, cenizas y aporte calórico para las cinco formulaciones de pan.

<b>Formulación</b>	<b>% HUMEDAD</b>	<b>%CENIZAS</b>	<b>Aporte calórico* (kcal/100g)</b>
<b>F.O</b>	16.54 ± 0.52	0.457 ± 0.003	379.3
<b>F.A</b>	16.64 ± 0.134	0.475 ± 0.019	346.8
<b>F.B</b>	13.89 ± 0.028	0.464 ± 0.014	395.9
<b>F.C</b>	22.44 ± 0.13	0.642 ± 0.037	390.8
<b>F.D</b>	14.47 ± 0.057	0.544 ± 0.011	342.0

\*Sólo se obtuvo un valor del aporte calórico para cada formulación

Cuando el pan está recién horneado, inmediatamente se va a ir redistribuyendo el agua dentro de la miga, de modo que en el pan fresco siempre va a haber una migración desde el interior hacia el exterior. El gradiente de humedad induce el movimiento del agua de la miga a la corteza (Nand, 2015). Por lo que la determinación de humedad dentro de la miga en el pan indica el grado de envejecimiento que este puede llegar a tener, así como la interacción que tiene el agua con los componentes de la mezcla. Debido a esto la humedad se considera un indicador de calidad en el proceso, estableciendo como referencia a la formulación original.

En la Tabla 20 se muestran los valores del porcentaje de humedad analizados un día después de su elaboración. Podemos ver que la formulación C, la cual sólo tiene

mantequilla, es la que presenta mayor porcentaje de humedad, es decir en la miga de esta formulación se retiene más agua. Mientras que tanto para la F.O y la F.A muestran valores de humedad similares, pero de valor intermedio respecto a las otras formulaciones. La F.B es la que presenta menor retención de agua.

Debido a que la humedad es un parámetro que indica el envejecimiento de este producto, se puede considerar un buen indicador de calidad.

Las cenizas indican la cantidad de residuos inorgánicos que quedan en el alimento después de calcinarlo (Pearson, 2003). En la Tabla 20, la F.C muestra mayor contenido de cenizas, mientras que la F.O tiene valores similares a la F.A y a la F.B. En un estudio realizado con panes fortificados con omega 6 y omega 3, se menciona que el pan no debe rebasar un 3.5% de cenizas (Osuna, 2006). De acuerdo a esta referencia, los panes elaborados con las grasas en estudio no rebasan este límite, indicando que tienen una cantidad pequeña de minerales.

Los lípidos, carbohidratos y proteínas, al ser metabolizados por el organismo se consume cierta cantidad de energía, este valor es conocido como el valor energético. Para cada formulación de pan se obtuvo con una bomba calorimétrica, obteniendo su constante, el valor energético para cada una. En la Tabla 20 se muestra que F.O, F.B y F.C tienen valores energéticos similares. Este valor alto de energía se debe a que el pan es un alimento completo en cuanto a sus biomoléculas (carbohidratos, lípidos y proteínas).

### **3.33 Análisis microbiológico**

Los microorganismos indicadores proporcionan información sobre la calidad microbiológica de un alimento, es decir, su existencia señala una posible contaminación con patógenos.

Los coliformes totales son un grupo de microorganismos que habitan en el tracto intestinal del hombre, útiles para indicar una contaminación cruzada por una manipulación con las manos sucias. Los Mesófilos aerobios dan una idea de los contaminantes en el ambiente. (Madigan, 2009)

Debido a que se realizaron pruebas al producto final, se puede observar en la Tabla 21 que ninguna formulación obtuvo intervalos de UFC fuera de norma, indicando que el proceso de elaboración para el pan fue higiénico.

**Tabla 21.** Microorganismos indicadores para cada formulación.

Determinación	F.O	F.A	F.B	F.C	F.D	NOM-147-SSA1-1996
<b>Mesófilos aerobios</b>	20 UFC/g (valor estimado)	200 UFC/g (valor estimado)	40 UFC/g (valor estimado)	40 UFC/g (valor estimado)	0 UFC/g (valor estimado)	5000 UFC/g máx.
<b>Coliformes Totales</b>	0 UFC/g (valor estimado)	0 UFC/g (valor estimado)	0 UFC/g (valor estimado)	0 UFC/g (valor estimado)	0 UFC/g (valor estimado)	20 UFC/g máx.

### 3.34 Análisis sensorial

El estudio sensorial se realizó para observar el consumo de productos de panificación y en específico del pan de muerto, además con este análisis se puede relacionar una propiedad cualitativa del pan: la suavidad, con una cuantitativa: la humedad.

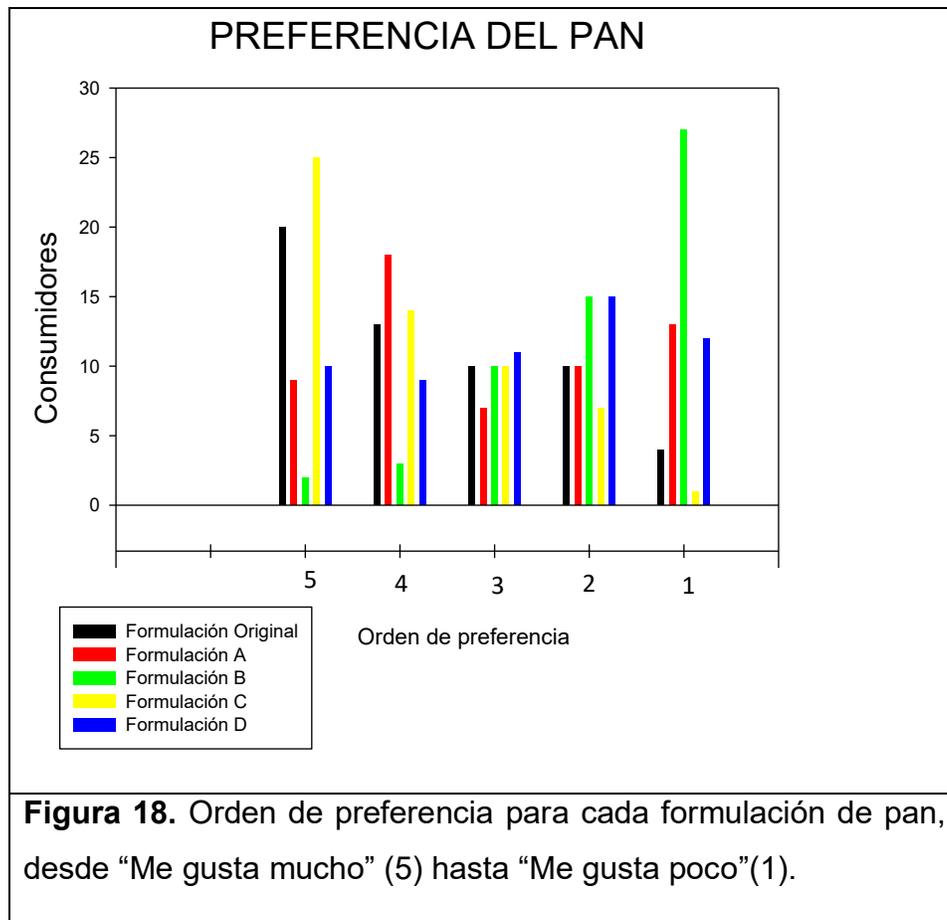
Este fue realizado a una población total de 59 personas entre 18 y 40 años en la Facultad de Química, UNAM.

- Para las pruebas afectivas o de consumidor se obtuvieron resultados de frecuencia de consumo del pan de tradición mexicano (concha, donas, panques, etc). En la figura 5 se puede observar que tanto para la población de mujeres como de hombres de 18 a 25 años y de mujeres de 26 a 40 años, consumen con mayor frecuencia pan de tradición mexicano 3 o 4 veces por semana. Esto nos indica que siempre habrá la tendencia en consumir este tipo de producto.



**Figura 17.** Gráficas de pay para frecuencia de consumo del pan de tradición mexicano.

- En cuanto al orden de preferencia de las distintas formulaciones del pan, se puede visualizar en la Figura 18 el orden de preferencia. El 1 corresponde a “Me gusta poco”, el 2 a “No me gusta”, el 3 a “ Ni me gusta, ni me disgusta”, el 4 a “Me gusta” y el 5 a “Me gusta mucho”. La formulación que fue preferida con la leyenda “Me gusta mucho” es la F.C (con 100% mantequilla), mientras que la menos preferida fue la F.B. (100% grasa vegetal)



**Figura 18.** Orden de preferencia para cada formulación de pan, desde “Me gusta mucho” (5) hasta “Me gusta poco”(1).

Para saber en dónde hay una diferencia significativa de preferencia entre muestras, se realizó la prueba de Friedman a partir de la suma de rangos (ANEXO IX). De las cuales se puede observar que la formulación original no tiene una diferencia significativa en la preferencia con la F.A y la F.C. Sin embargo sí existe una diferencia significativa de la formulación original con la F.B y la F.D, siendo la formulación B la de menor preferencia.

Esto significa que los consumidores prefieren un pan con las características brindadas que ofrece la mantequilla, mientras que el pan con solamente manteca vegetal no es tan agradable al gusto.

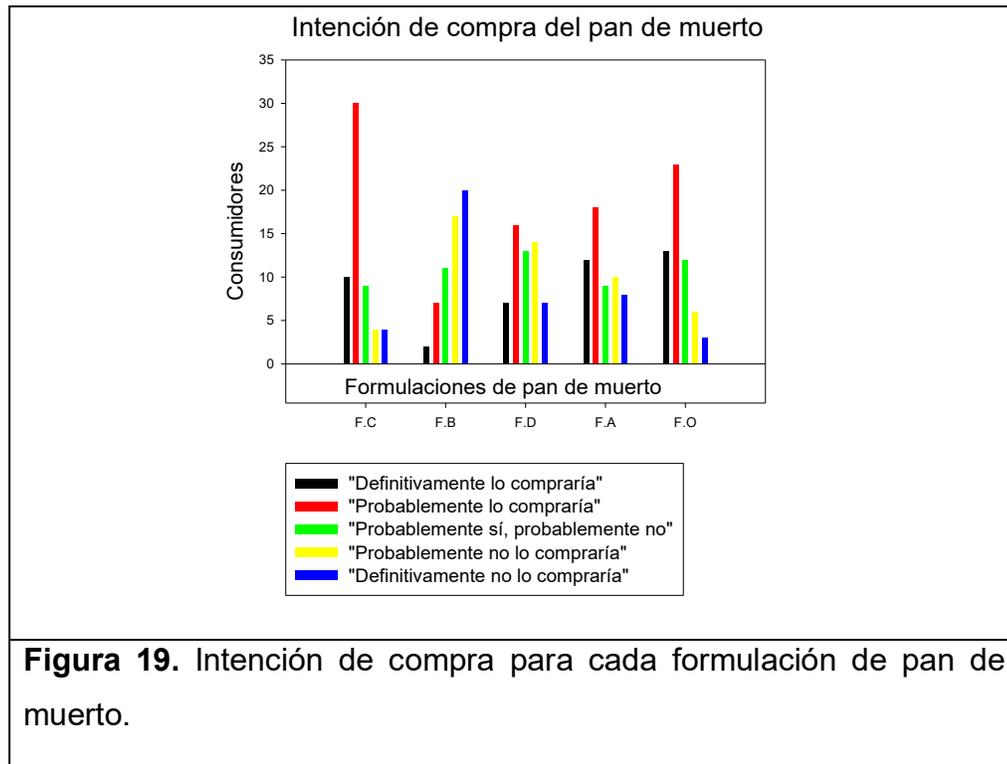
- En cuanto al nivel de agrado en la suavidad del pan (facilidad con la que se puede morder el pan) se realizó una escala hedónica de 9 puntos, donde el #1 indica “me gusta extremadamente” y el #9 indica “Disgusta extremadamente”. A partir de los resultados se realizó una ANOVA con  $\alpha=0.05$  para observar si hay o no diferencia significativa (ANEXO X), en donde se rechaza la  $H_0$ , por lo que al menos una de las muestras es preferida por sobre las otras muestras. Con el objetivo de conocer qué muestras son preferibles en cuanto a su suavidad se hizo el análisis por comparaciones DMS (Tabla 22). De lo cual se obtiene que no hay una diferencia significativa en suavidad de la F.O con la F.A y la F.C, mientras que sí hay diferencia significativa en la suavidad de la F.O con la F.D y la F.B. Esto significa, que la formulación original tiene una similitud en cuanto a su suavidad con el pan al que se le sustituyó la manteca de cerdo por manteca vegetal y al pan que se le sustituyó toda la grasa por sólo mantequilla.

**Tabla 22.** Análisis estadístico por comparaciones DMS para la suavidad del pan.

Comparación entre formulaciones	Diferencia de medias	DMS	¿Diferencia en suavidad?
F.B-F.D	0.50	0.57	No
F.B-F.A	0.60	0.57	Sí
<b>F.B-F.O</b>	<b>1.10</b>	<b>0.57</b>	<b>Sí</b>
F.B-F.C	1.50	0.57	Sí
F.D-F.A	0.10	0.57	No
<b>F.D-F.O</b>	<b>0.60</b>	<b>0.57</b>	<b>Sí</b>
F.D-F.C	1.00	0.57	Sí
<b>F.A-F.O</b>	<b>0.50</b>	<b>0.57</b>	<b>No</b>

F.A-F.C	0.90	0.57	Sí
<b>F.O-F.C</b>	<b>0.40</b>	<b>0.57</b>	<b>No</b>

- Intención de compra. En la encuesta también se preguntó la opción de compra que ejercería el consumidor para cada pan. Donde el número 1 indica “Definitivamente lo compraría”, el 2 “Probablemente lo compraría”, el 3 “Probablemente sí, probablemente no”, el 4 “Probablemente no lo compraría” y el 5 “Definitivamente no lo compraría”. En la Figura 19 se observa que la F.O, F.A, F.C y la F.D probablemente se comprarían, en cambio la que definitivamente no se ejercería una compra es para la F.B.



En la Tabla 23 la suavidad del pan está directamente relacionada con la humedad, pues los panes con valores de humedad altos (F.C, F.A y F.O) resultaron tener una suavidad mayor respecto a los panes con humedades bajas (F.B y F.D).

**Tabla 23.** Relación entre suavidad del pan con humedad y preferencia del consumidor.

Formulación	Suavidad		Media de humedad (%)	Preferencia
	Escala de suavidad*	Media de la escala hedónica		
<b>F.O</b>	2	4.0	16.54	2
<b>F.A</b>	3	4.5	16.64	3
<b>F.C</b>	1	3.6	22.44	1
<b>F.D</b>	4	4.6	14.47	4
<b>F.B</b>	5	5.1	13.89	5

\* Escala donde “1” es más suave y 5 es “poco suave”

De acuerdo con la tabla anterior donde se observa que la humedad es un factor importante para la suavidad en el pan de muerto y además está relacionado con la preferencia se puede establecer a la humedad como un indicador de calidad en el pan después de un día de cocción, los intervalos propuestos serían los mostrados en la tabla 24, donde se escogen los valores de la F.O, F.A y F.C.

**Tabla 24.** Valores propuestos para la humedad como un parámetro de calidad en pan de muerto.

Especificación	Valores	Método
HUMEDAD (%)	16.5-22.4	Termobalanza

### 3.35 Tabla nutrimental y etiquetado frontal

De acuerdo con la NOM-051-SSA1- sobre especificaciones generales de etiquetado para alimentos, se establece en el apartado “4.2.8.3.6” sobre lo que se debe presentar en la tabla nutrimental en el empaque. A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio de Química y Análisis de Alimentos del departamento de Alimentos y Biotecnología de la UNAM, se elaboró la tabla de información nutrimental (Figura 20).

<b>INFORMACIÓN NUTRIMENTAL</b>	
Tamaño de la porción: 1 pan de 100 g	
Porciones por envase: 2	
Contenido energético	1568 kJ (392 kcal)
Proteínas	10 g
Grasas (lípidos)	16 g, de las cuales 3 g de grasa saturada
Carbohidratos (Hidratos de carbono)	53 g, de los cuales 3 g de azúcares
Fibra dietética	3 g
Sodio	38 mg

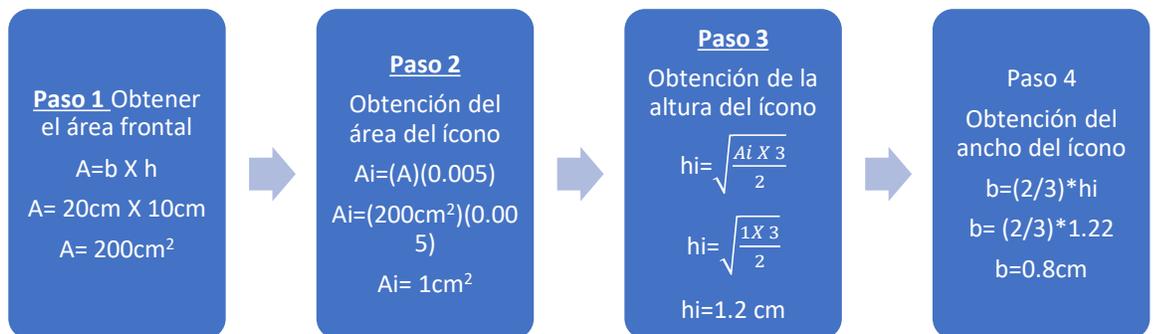
**Figura 20.** Tabla de información nutrimental para el pan de muerto

Para obtener los valores del etiquetado frontal se debe basar en la información de la tabla nutrimental. Esta tabla puede colocarse en la parte de atrás o en los laterales del envase, dependiendo del diseño para el producto.

Para este producto, pan de muerto, se propuso lo siguiente:

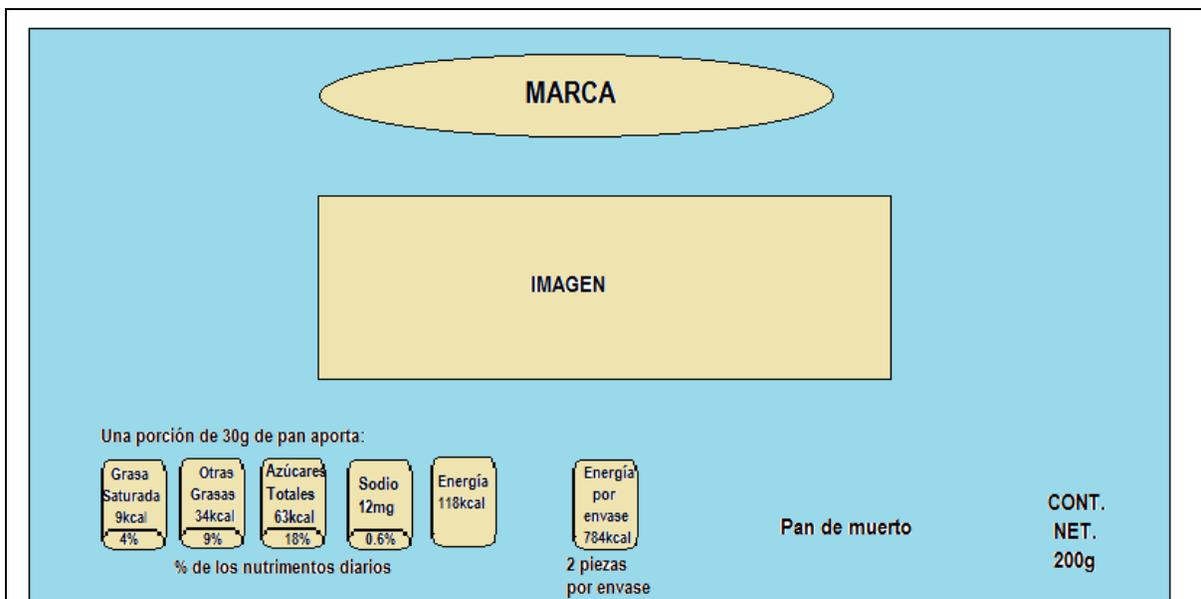
- ✓ Diseño- Empaque de plástico con la cara frontal rectangular de dimensiones 10 X 20 cm.
- ✓ Etiquetado frontal- De Acuerdo con la NOM-051-SSA1-2010, NOM-030-SSA1-2006 y al manual de etiquetado frontal expedido por la COFEPRIS, el etiquetado frontal debe cumplir con lo siguiente:

- El orden de los nutrimentos y energía a declarar debe ser: 1° Grasas saturadas, 2° Otras Grasas, 3<sup>er</sup>o Azúcares totales, 4<sup>to</sup> Sodio, 5<sup>to</sup> Energía y 6<sup>to</sup> Energía por envase.
- Se pueden tener envases individuales o familiares, los primeros son aquellos cuyo contenido de producto sea menor al tamaño de la porción mínima de referencia para presentaciones familiares. Mientras que los familiares son aquellos cuyo contenido sea igual o superior a la porción mínima de referencia.
- En productos de panificación, cuando el contenido es mayor a 100g, se considera un envase familiar, y por tanto en el etiquetado frontal se debe reportar por cada 30 g.
- Para obtener los porcentajes de nutrimentos diarios se deben usar los siguientes factores de conversión: Grasa saturada= 200, Otras grasas=400, Azúcares totales= 360, Sodio= 2000.
- El área frontal de exhibición es la superficie donde se encuentra la denominación y la marca comercial del producto.
- Las iconografías de los íconos deben tener una proporción del 0.5% del área, los íconos no deben de ser menores a 0.6cm de ancho y 0.9cm de alto, cada ícono deberá guardar la proporción de 2/3 de ancho con respecto a la altura. Para el realizado de las dimensiones de los íconos en el diseño del envase del pan de muerto se siguieron los siguientes pasos:



- Color: El color de los íconos serán elegidos por cada productor, debiéndose usar el mismo color en cada uno de ellos. Además, los colores de la los íconos deberán contrastar con el fondo del área.
- Todos los valores reportados, tanto de kcal o de g serán redondeados. Si el decimal es mayor a 0.5, se reporta en la unidad inmediata superior y si el decimal es menor a 0.5, se reportará en la unidad inmediata inferior.
- Leyendas: La leyenda “Una porción de xx g o ml aporta...” se deberá colocar en la parte superior a los íconos. La leyenda “% de los nutrimentos diarios” se deberá colocar en la parte inferior a los íconos. Y la leyenda “xx porciones por envase” se reportará abajo del sexto ícono.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se diseñó una etiqueta frontal (Figura 21) con los valores referidos de la tabla nutricional y con las especificaciones del manual de la COFEPRIS:



**Figura 21.** Diseño del etiquetado frontal con sus respectivos valores nutrimentales.

## CONCLUSIONES

Se corroboró que para la utilización de manteca de cerdo, grasa vegetal y mantequilla en el pan de muerto deben de almacenarse en refrigeración y usarse en menos de quince días para evitar un deterioro lipídico oxidativo.

Cuando la masa no ha sido fermentada no es posible establecerle algún indicador reológico debido a la falta de la red de gluten. En cambio, cuando el pan ya ha sido fermentado, es posible medirle algún otro parámetro reológico, ya sea con un farinógrafo o alveógrafo para establecerlo como indicador de calidad.

El módulo de Young no resultó ser un buen indicador de calidad en la masa antes y después de fermentar con la prueba de extensión uniaxial debido a su alta sensibilidad.

La masa tiende a tener un comportamiento más elástico que viscoso cuando no ha sido fermentada.

El TPA resulta ser una buena medición para poder estudiar el comportamiento mecánico del pan, sin embargo resulta un método sensible para poderlo fijar como un indicador de calidad debido a que al simular la mordida no se pueden aislar los diversos parámetros (Dureza, Cohesividad, Elasticidad, etc).

La humedad sí se puede establecer cómo un indicador de calidad, debido a su estrecha relación con la suavidad y el nivel de agrado del consumidor.

A partir de un experimento exploratorio en la modificación del tipo de grasa y su proporción fue posible establecer alternativas en la sustitución de manteca de cerdo: si se quiere una masa capaz de resistir ante una deformación y un pan con preferencia al consumidor, se puede sustituir la mantequilla al cien por ciento respecto a la manteca de cerdo sólo tiene la desventaja de que el pan resultará poco húmedo y por tanto menos suave. Pero si se desea que el producto sea aceptable al consumidor y además tenga una suavidad deseable se puede optar por una formulación que tenga grasa vegetal (10.2%) y mantequilla (4%).

Fue posible elaborar una tabla nutricional y el etiquetado frontal de acuerdo con los requisitos reglamentarios establecidos por la NOM-051-SSA1-2010 y por la COFEPRIS.

## REFERENCIAS

- Alegret P., Riera J. & Codoney R., (2004). *Química y Bioquímica de los Alimentos II*. España: Edicions Universitat.
- Akoh C. & Min D., (2002). *Food lipids: Chemistry Nutrition and Biotechnology*, Segunda edición, Estados Unidos.
- Bailey, A. (1984). Composición y características. En *Aceites y grasas Industriales* (pp. 115-116). Barcelona: Reverté.
- Benitez, J. & Gutierrez, A. (2013). Elaboración de mantequilla. En UF1282: *Elaboración de mantequilla*. España: IC Editorial.
- Badui, S. (2006) *Química de los alimentos*, Cuarta edición, Ciudad de México: Pearson Education.
- Barrera, G.N., Bassi, E., Reyes R.J., León A.E. & Ribotta P.D. (2012). *Efectos de diferentes fracciones de harina de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces*. Argentina, 29, 1-13.
- Calaveras, J. (1996). *Tratado de panificación y bollería*. Madrid: AMV Ediciones.
- Devi, A., & Khatkar, B. (2016). *Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review*. Food Science Technology, 53, 3633–3641.
- Dobraszczyk, B. & Morgenstern, M. (2003). *Rheology and the breadmaking process*. Journal of Cereal Science, 38, 229-245.
- Fennema, O. (1996). *Food Chemistry*. Estados Unidos: Marcel Decker.
- González, A., Alvis, A., & Arrazola, G. (2014, Septiembre). *Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (Ipomoea Batatas Lam) fritos por inmersión*. Información Tecnológica, 26, 95-102.
- Idoui E., Benhamada N. & Leghouchi, E. (2010). Microbial quality, physicochemical characteristics and fatty acid composition of a traditional butter produced from cows' milk in East Algeria, *Grasas y Aceites*, 61(3), 232-236.
- Kilborne, R. & Tipples, K.H. (1974). *Implications of the mechanical development of bread dough by means of sheeting rolls*. Cereal Chemistry, 51, 648-657.

Lazaridou, A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N. & Biliaderis C.G. (2006). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.

Madigan, M & Martinko, J.(2009). *Biología de los microorganismos*. España: Pearson Educación.1143.

Mesas, J & Alegre, M. (2002). *Pan y su Proceso de Elaboración*. Ciencia y tecnología alimentaria, 5(3).

Nand, O., Pareyt, B., Brijis, K. & Delcour, J. (2015). *Ingredient Functionality in multilayered dough- margarine systems and the resultant pastry products: A Review*. *Food Science and Nutrition*, 56, 2101-2114.

NTC 241 2002, *Grasas y aceites comestibles vegetales y animales*. Norma Técnica Colombiana, Sexta actualización.

Rodriguez, E., Fernandez, A., & Ayala, A.. (2005, Agosto). *Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz*. *Revista Ingeniería e Investigación*, 25, 87-93.

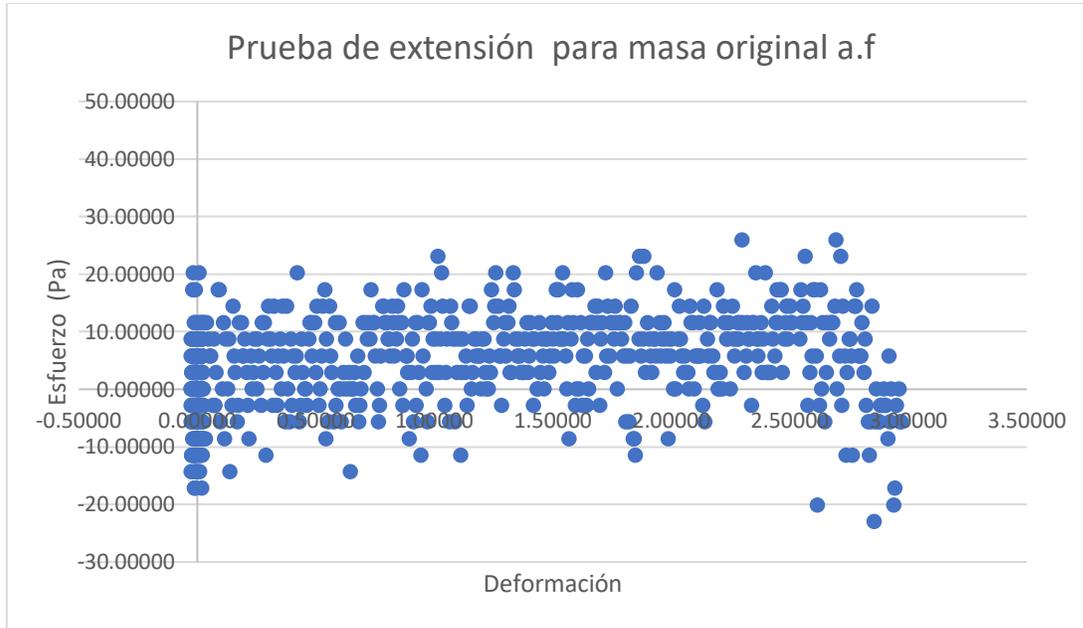
Rodriguez F. (2010) *Claridades agropecuarias: La flaca vino, la flaca pasó y el pan de muerto, la flaca se lo comió*, [revista electrónica] (Actualizado al 18 de Septiembre 2016). Disponible en: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/207/ca207-44.pdf>

Steffe, J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. USA: Freeman Press.

Zheng, H., Morgenstern, M., Campanella, O., & Larsen, N. (2000). *Rheological properties of dough during mechanical dough development*. *Journal of Cereal Science* , 32, 293-306.

## ANEXO

**Anexo I-** Presencia de ruido en el gráfico de Esfuerzo vs Deformación para la masa antes de fermentarse.



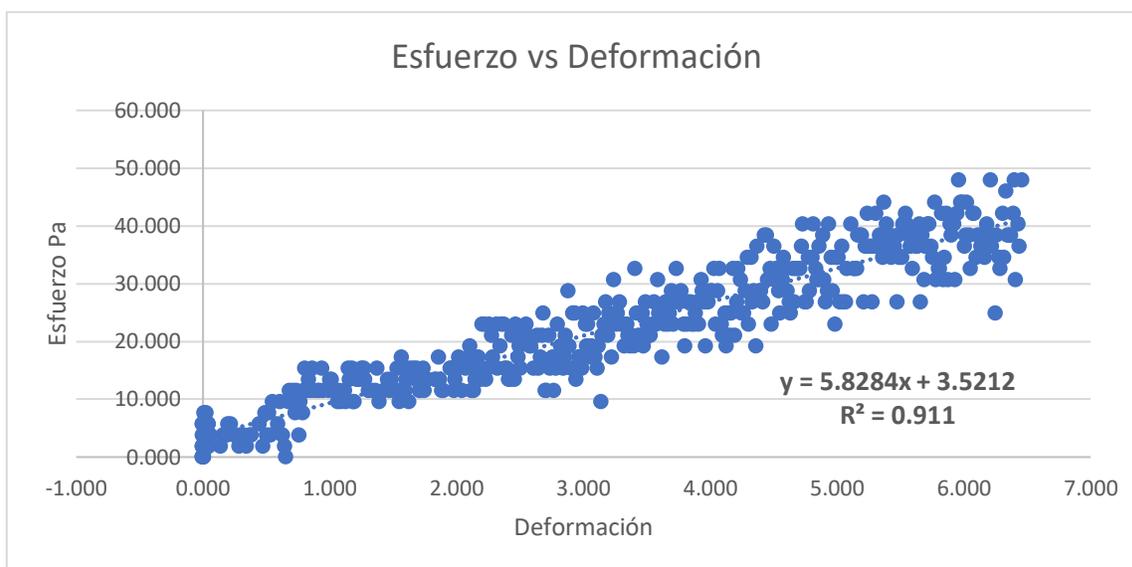
**Anexo II-** Análisis estadístico para la prueba de compresión en masa antes de fermentar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Conclusión
Entre grupos	81689.4987	4	20422.3747	99.3571523	3.2278E-17	2.67866711	H1
Dentro de los grupos	6371.89775	31	205.545089				
Total	88061.3965	35					

Muestra	Símbolo	Media
F.C	A	-175.85
F.O	B	-177.33
F.B	C	-212.60
F.D	D	-247.89
F.A	E	-294.16

	DIF	Scomp	DMS(t-student) $\alpha=0.05,$ $Tt=2.1314$	Conclusión
$\mu_a - \mu_b$	1.48	7.56	15.41	H0
$\mu_a - \mu_c$	36.75	7.98	16.27	H1
$\mu_a - \mu_d$	72.04	8.68	17.71	H1
$\mu_a - \mu_e$	118.31	7.56	15.41	H1
$\mu_b - \mu_c$	35.27	7.23	14.74	H1
$\mu_b - \mu_d$	70.56	8.00	16.31	H1
$\mu_b - \mu_e$	116.83	6.76	13.78	H1
$\mu_c - \mu_d$	35.29	8.39	17.12	H1
$\mu_c - \mu_e$	81.56	7.23	14.74	H1
$\mu_d - \mu_e$	46.27	8.00	16.31	H1

**ANEXO III-** Gráfico típico de un diagrama esfuerzo vs deformación para las pruebas de extensión uniaxial.



**ANEXO IV-** Análisis estadístico para la prueba de extensión en masa después de fermentar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	Conclusión
Entre grupos	121.727673	4	30.4319182	7.792	0.00132	3.0556	H1
Dentro de los grupos	58.5856061	15	3.90570707				
Total	180.313279	19					

Muestra	Símbolo	Media
F.B	a	13.004
F.O	b	9.94
F.D	c	9.7
F.A	d	7.8
F.C	e	7.3

	DIF	Scomp	DMS(t-student) $\alpha=0.05,$ $Tt=2.1314$	Conclusión
$\mu a-\mu b$	3.064	1.16	2.47	H1
$\mu a-\mu c$	3.304	1.36	2.91	H1
$\mu a-\mu d$	5.204	1.16	2.47	H1
$\mu a-\mu e$	5.704	1.16	2.47	H1
$\mu b-\mu c$	0.24	1.44	3.08	H0
$\mu b-\mu d$	2.14	1.25	2.66	H0
$\mu b-\mu e$	2.64	1.25	2.66	H0
$\mu c-\mu d$	1.9	1.44	3.08	H0
$\mu c-\mu e$	2.4	1.44	3.08	H0
$\mu d-\mu e$	0.5	1.25	2.66	H0

## ANEXO V-Análisis estadísticos para el TPA en el pan de muerto

- Dureza:

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>Conclusión</i>
Entre grupos	1618.02398	4	404.505995	28.41	1E-06	3.1122	H1
Dentro de los grupos	199.340695	14	14.2386211				
<b>Total</b>	<b>1817.36467</b>	<b>18</b>					

Muestra	Símbolo	Media
F.B	a	43.74
F.D	b	28.97
F.O	c	23.78
F.C	d	17.07
F.A	e	13.28

	<b>DIF</b>	<b>Scomp</b>	<b>DMS(t-student) α=0.05, Tt=2.14</b>	<b>Conclusión</b>
<b>μa-μb</b>	14.77	2.83	6.07	H1
<b>μa-μc</b>	19.96	2.83	6.07	H1
<b>μa-μd</b>	26.67	2.83	6.07	H1
<b>μa-μe</b>	30.46	2.64	5.67	H1
<b>μb-μc</b>	5.19	1.89	4.05	H1
<b>μb-μd</b>	11.9	1.89	4.05	H1
<b>μb-μe</b>	15.69	1.70	3.64	H1
<b>μc-μd</b>	6.71	1.89	4.05	H1
<b>μc-μe</b>	10.5	1.70	3.64	H1
<b>μd-μe</b>	3.79	1.70	3.64	H1

- Cohesividad:

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>
Entre grupos	0.056399	4	0.014	3.608	0.028	3.007	H1
Dentro de los grupos	0.062525	16	0.004				
<b>Total</b>	<b>0.118924</b>	<b>20</b>					

Muestra	Símbolo	Media
F.O	a	0.31
F.B	b	0.285
F.D	c	0.248
F.A	d	0.202
F.C	e	0.176

	DIF	Scomp	DMS(t-student) $\alpha=0.05,$ $Tt=2.12$	Conclusión
$\mu_a-\mu_b$	0.025	0.0523	0.11	H0
$\mu_a-\mu_c$	0.062	0.0419	0.09	H0
$\mu_a-\mu_d$	0.108	0.0395	0.08	H1
$\mu_a-\mu_e$	0.134	0.0395	0.08	H1
$\mu_b-\mu_c$	0.037	0.0541	0.11	H0
$\mu_b-\mu_d$	0.083	0.0419	0.09	H0
$\mu_b-\mu_e$	0.109	0.0523	0.11	H0
$\mu_c-\mu_d$	0.046	0.0419	0.09	H0
$\mu_c-\mu_e$	0.072	0.0419	0.09	H0
$\mu_d-\mu_e$	0.026	0.040	0.08	H0

- Elasticidad:

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>
<b>Entre grupos</b>	0.000325	4	8.1E-05	1.49	0.253	3.007	H0
<b>Dentro de los grupos</b>	0.000875	16	5.5E-05				
<b>Total</b>	0.0012	20					

- Gomosidad:

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>
<b>Entre grupos</b>	151.525	4	37.881249	15.28	3.6E-05	3.056	H1
<b>Dentro de los grupos</b>	37.1829	15	2.4788573				
<b>Total</b>	188.708	19					

Muestra	Símbolo	Media
F.B	a	9.81
F.O	b	7.915
F.D	c	7.2
F.A	d	2.952
F.C	e	2.418

	DIF	Scomp	DMS(t-student) $\alpha=0.05,$ $Tt=2.13$	Conclusión
$\mu_a-\mu_b$	1.895	1.3635	2.91	H0
$\mu_a-\mu_c$	2.61	1.3635	2.91	H0
$\mu_a-\mu_d$	6.858	1.3173	2.81	H1
$\mu_a-\mu_e$	7.392	1.3173	2.81	H1
$\mu_b-\mu_c$	0.715	1.1133	2.37	H0
$\mu_b-\mu_d$	4.963	1.0562	2.25	H1
$\mu_b-\mu_e$	5.497	1.0562	2.25	H1
$\mu_c-\mu_d$	4.248	1.0562	2.25	H1
$\mu_c-\mu_e$	4.782	1.0562	2.25	H1
$\mu_d-\mu_e$	0.534	0.996	2.12	H0

- Masticabilidad:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	CONCLUSIÓN
Entre grupos	3402.3458	4	850.586451	31.74	3.68E-07	3.05557	H1
Dentro de los grupos	401.97988	15	26.7986583				
Total	3804.3257	19					

Muestra	Símbolo	Media
F.B	a	51.35
F.O	b	23.61
F.D	c	21.58
F.A	d	8.82
F.C	e	7.23

	DIF	Scomp	DMS(t-student) $\alpha=0.05,$ $Tt=2.13$	Conclusión
$\mu_a-\mu_b$	27.74	4.4832	9.56	H1
$\mu_a-\mu_c$	29.77	4.4832	9.56	H1
$\mu_a-\mu_d$	42.53	4.3312	9.23	H1
$\mu_a-\mu_e$	44.12	4.3312	9.23	H1
$\mu_b-\mu_c$	2.03	3.6605	7.80	H0
$\mu_b-\mu_d$	14.79	3.4727	7.40	H1
$\mu_b-\mu_e$	16.38	3.4727	7.40	H1
$\mu_c-\mu_d$	12.76	3.4727	7.40	H1
$\mu_c-\mu_e$	14.35	3.4727	7.40	H1
$\mu_d-\mu_e$	1.59	3.274	6.98	H0

**ANEXO VI - Prueba de ordenamiento de preferencia por Friedman**

<b>Gusto General (Orden de Preferencia Total)</b>					
	<b>230 (M.O)</b>	<b>378 (F.A)</b>	<b>188 (F.B)</b>	<b>473 (F.C)</b>	<b>912 (F.D)</b>
<b>Me gusta mucho (5)</b>	100	45	10	125	50
<b>Me gusta (4)</b>	52	72	12	56	36
<b>Ni me gusta, ni me disgusta(3)</b>	30	21	30	30	33
<b>No me gusta (2)</b>	20	20	30	14	30
<b>Me gusta menos (1)</b>	4	13	27	1	12
<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>171</b>	<b>109</b>	<b>226</b>	<b>161</b>
<b>Promedio</b>	41.20	34.20	21.80	45.20	32.20
<b>D.E.</b>	37.19	24.35	9.96	49.10	13.65
<b>C.V. (%)</b>	90.27	71.19	45.69	108.63	42.38
<b>Varianza</b>	1383.20	592.70	99.20	2410.70	186.20

<b>Evaluación</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Total</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Conclusión</b>
			<b>Teórica</b> <b>(<math>\delta</math>)</b>	
<b>F.O-F.A</b>	206-171	35	33.66	Ho
<b>F.O-F.B</b>	206-109	97	33.66	H1
<b>F.O-F.C</b>	206-226	20	33.66	Ho
<b>F.O-F.D</b>	206-161	45	33.66	H1
<b>F.A-F.B</b>	171-109	62	33.66	H1
<b>F.A-F.C</b>	171-226	55	33.66	H1
<b>F.A-F.D</b>	171-161	10	33.66	Ho
<b>F.B-F.C</b>	109-226	117	33.66	H1
<b>F.B-F.D</b>	109-161	52	33.66	H1
<b>F.C-F.D</b>	226-161	65	33.66	H1

**ANEXO VII-** ANOVA para la escala hedónica de 9 puntos para el atributo de suavidad.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	<i>CONCLUSIÓN</i>
<b>Filas</b>	<b>383.24</b>	<b>58</b>	<b>6.608</b>	<b>2.67</b>	<b>4.1E-07</b>	<b>1.40</b>	<b>H1</b>
<b>Columnas</b>	<b>61.33</b>	<b>3</b>	<b>20.445</b>	<b>8.27</b>	<b>3.5E-05</b>	<b>2.66</b>	<b>H1</b>
<b>Error</b>	<b>429.92</b>	<b>174</b>	<b>2.471</b>				
<b>Total</b>	<b>874.49</b>	<b>235</b>					

Resta	Diferencia medias	DMS	¿Diferencia?
$\mu F.B - \mu F.D$	0.50	0.57	no
$\mu F.B - \mu F.A$	0.60	0.57	si
$\mu F.B - \mu F.O$	1.10	0.57	si
$\mu F.B - \mu F.C$	1.50	0.57	si
$\mu F.D - \mu F.A$	0.10	0.57	no
$\mu F.D - \mu F.O$	0.60	0.57	si
$\mu F.D - \mu F.C$	1.00	0.57	si
$\mu F.A - \mu F.O$	0.50	0.57	no
$\mu F.A - \mu F.C$	0.90	0.57	si
$\mu F.O - \mu F.C$	0.40	0.57	no