

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Estudio del efecto de agentes emulsionantes en las  
características reológicas de la masa de pan con harina de arroz.”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIEROS DE ALIMENTOS**

Presentada por:

María Gabriela Guevara Véliz

Nazre Daniel Murgueitio Adum

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año 2013

## **AGRADECIMIENTO**

A las personas que conforman LEMAT, por habernos brindado su confianza y ayuda durante nuestro trabajo de investigación.

A nuestra tutora de tesis, la Ing. Fabiola Cornejo por su apoyo y orientación hacia el éxito de este proyecto.

Y a nuestros amigos que siempre confían en nosotros y celebran nuestros triunfos.

**Gabriela y Nazre**

## DEDICATORIA

**A DIOS**, por enseñarme el camino de la sabiduría y la felicidad, por protegerme y por mostrarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

**A mis padres**, Alberto y Yoly porque son el pilar de mi vida, mi fuerza para seguir adelante y por sus enseñanzas valiosas que me formaron como la persona que soy. **Y a mis hermanos**, Beto y Marita por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.

Ma. Gabriela

## DEDICATORIA

**A DIOS**, por guiarme y enseñarme siempre el camino por donde ir.

**A mis padres**, Daniel y Mirella por su apoyo, confianza y por inculcarme buenas costumbres que han regido mi carácter y mi forma de ser. **Y a mi hermana** María Daniela por su apoyo incondicional que ha sido muy importante durante toda mi carrera universitaria.

Nazre

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Fabiola Cornejo Z.  
DIRECTORA DE TESIS

---

Ing. Rodrigo Perugachi B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

María Gabriela Guevara V.

---

Nazre Daniel Murgueitio A.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar el efecto que ejercen dos tipos de emulsionantes, sobre las características reológicas presentes en la masa de pan con harina de arroz, la cual carece de gluten. Para evaluar estas características se utilizó el reómetro Kinexus Pro, presente en el laboratorio LEMAT de la ESPOL, en el cual se tuvo que implementar una metodología de operación del equipo y preparación de la muestra.

Los emulsionantes empleados fueron el Monoglicérido Destilado y Estearoil 2 Lactilato de Sodio, los cuales son muy comúnmente utilizados en la industria panadera del país. El primero favorece al ablandamiento de la miga y a disminuir la retrodegradación del almidón, y el segundo tiene el mismo efecto pero además actúa mejorando la retención del gas producido por la levadura.

Los resultados obtenidos indicaron que existe un predominio de la componente elástica sobre la componente viscosa en todas las muestras

evaluadas. Además, se pudo conocer que no existió diferencia significativa entre las concentraciones de un mismo aditivo.

A pesar de esto, cuando se evaluaron las muestras frente a la muestra blanco, el SSL a 0,5% maximizó los valores de los componentes elástico y viscoso, mientras que el DM a 1% no ejerció efecto significativo en la masa de pan con harina de arroz. Por otro lado, la concentración de 0,3% de DM solo ejerció un efecto significativo en el componente elástico de la muestra. También se puede mencionar que la concentración de 0,3% de SSL si ejerció un efecto significativo en comparación con la muestra blanco.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS .....	VIII
SIMBOLOGÍA .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1 .....	3
1. PROBLEMA .....	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Hipótesis.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General .....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO 2.....	7
2. Fundamento Teórico .....	7
2.1. Concepto y parámetros fundamentales en Reología y Reometría .	7
2.1.1. Reología.....	7

2.1.2. Fuerza, Esfuerzo, y Deformación.....	9
2.1.2.1. Fuerza .....	9
2.1.2.2. Esfuerzo .....	10
2.1.2.3. Deformación .....	12
2.2 Propiedades Reológicas.....	13
2.2.1 Módulo de Almacenamiento.....	17
2.2.2 Módulo de Pérdida .....	17
2.3 Reometría.....	18
2.3.1 Definición .....	18
2.3.2. Reómetro .....	19
2.3.2.1. Tipos de Reómetro .....	19
2.3.2.1.1 Reómetro Rotacional.....	19
2.3.2.1.2 Reómetro de Tubo Capilar.....	21
2.4 Características reológicas de la masa de pan.....	21
CAPITULO 3.....	29
3. Materiales y Métodos .....	29
3.1. Materia Prima y Aditivos .....	29
3.2. Elaboración de la masa de pan .....	36
3.3. Determinación de la metodología de uso del Reómetro en el laboratorio LEMAT de ESPOL en muestras de masa de pan .....	36
3.3.1. Preparación de Muestras .....	36
3.3.2. Parámetros de Uso .....	52
3.4. Diseño de Experimentos .....	60
3.5. Análisis Reológicos .....	62
3.6. Análisis Estadístico.....	63

CAPITULO 4.....	65
4. Resultados y Análisis .....	65
4.1. Efecto de la concentración del monoglicérido destilado en la masa de pan de arroz. ....	65
4.1.1. Resultados de comparación para $G'$ por concentración. ....	65
4.1.2. Resultados de comparación para $G''$ por concentración.....	68
4.1.3. Resultados de comparación para $G'$ de concentración baja frente a muestra blanco. ....	72
4.1.4. Resultados de comparación para $G''$ de concentración baja frente a muestra blanco. ....	75
4.1.5. Resultados de comparación para $G'$ de concentración alta frente a muestra blanco. ....	78
4.1.6. Resultados de comparación para $G''$ de concentración alta frente a muestra blanco. ....	80
4.2. Efecto de la concentración del Estearoil 2 Lactilato de Sodio en la masa de pan de arroz. ....	84
4.2.1. Resultados de comparación para $G'$ por concentración. ....	84
4.2.2. Resultados de comparación para $G''$ por concentración.....	87
4.2.3. Resultados de comparación para $G'$ de muestra con concentración baja de SSL frente a la muestra blanco. ....	90
4.2.4. Resultados de comparación para $G''$ de muestra con concentración baja de SSL frente a la muestra blanco. ....	93
4.2.5. Resultados de comparación para $G'$ de muestra con concentración alta de SSL frente a la muestra blanco. ....	97
4.2.6. Resultados de comparación para $G''$ de muestra con concentración alta de SSL frente a la muestra blanco. ....	100
4.3. Efecto del tipo de aditivo en la masa de pan de arroz .....	104
4.3.1. Efecto sobre el Módulo de Almacenamiento ( $G'$ ).....	104
4.3.2. Efecto sobre el Módulo de Pérdida ( $G''$ ) .....	107

CAPÍTULO 5.....	113
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	113

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## ABREVIATURAS

DMA	Análisis Mecánico Dinámico
DTMA	Análisis Térmico Dinámico Mecánico
DM (E471)	Monoglicérido Destilado
SSL (E482)	Estearoil-2-lactilato de sodio
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LEMAT	Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales
vs	Versus
pp.	Página
T	Temperatura
°C	Grados centígrados
Pa	Pascales
Pas	Pascales segundo
TACC	Trigo, avena, centeno y cebada
a	Aceleración
PSI	Libras sobre pulgadas cuadradas
Lbs	Libras
Ft	Pie
A	Área
Q	Caudal
D	Diámetro
V	Viscosidad

## SIMBOLOGÍA

$H_0$	Hipótesis Nula
$H_1$	Hipótesis Alterna
$E' \text{ o } G'$	Módulo de Almacenamiento
$E'' \text{ o } G''$	Módulos de Pérdida
$\tan \delta$	Tangente del Ángulo de Fase
$F$	Fuerza
$m$	Masa
$m^2$	Metros al cuadrado
$mm$	Milímetro
$N$	Newton
$Kg$	Kilogramo
$Hz$	Hertzio
$Rad/s$	Radianes por segundo
$\frac{m}{s^2}$	Aceleración
$\sigma$	Esfuerzo
$\gamma$	Deformación
$Y$	Dimensión original
$\Delta Y$	Cambio de dimensión por acción de estrés
$\mu$	Viscosidad

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Fuerza Vs. Esfuerzo.....	11
FIGURA 2.2 El resultado de la aplicación de un esfuerzo es una deformación.....	13
FIGURA 2.3 Comportamiento de un material perfectamente elástico.....	15
FIGURA 2.4 Comportamiento de un material perfectamente viscoso.....	16
FIGURA 2.5 Comportamiento de un polímero real.....	16
FIGURA 2.6. Diagrama de deformación por cizalladura.....	25
FIGURA 2.7. Diagrama de deformación por tracción.....	26
FIGURA 2.8. Diagrama idealizado de módulo de almacenamiento $G'$ (Pa) y el módulo de pérdida $G''$ (Pa) vs deformación (%)......	27
Figura 3.1. Paso 1 De Zero Gap.....	37
Figura 3.2. Paso 2 De Zero Gap.....	38
Figura 3.3. Paso 3 De Zero Gap.....	39
Figura 3.4. Paso 4 De Zero Gap.....	40
Figura 3.5. Paso 1 De Load Simple.....	41
Figura 3.6. Paso 2 De Load Sample.....	42
Figura 3.7. Paso 3 De Load Sample.....	43
Figura 3.8. Paso 4 De Load Sample.....	44
Figura 3.9. Paso 5 De Load Sample.....	45
Figura 3.10. Paso 6 De Load Sample.....	46

Figura 3.11. Paso 7 Load Sample.....	47
Figura 3.12. Paso 8 De Load Sample.....	48
Figura 3.13. Paso 9 De Load Sample.....	49
Figura 3.14. Paso 1 De Unload Sample.....	50
Figura 3.15. Paso 2 De Unload Sample.....	51
Figura 3.16. Paso 3 De Unload Sample.....	52
Figura 3.17. Paso 1 De Prueba Región Lineal.....	53
Figura 3.18. Paso 2 De Prueba Región Lineal.....	54
Figura 3.19. Paso 3 De Prueba Región Lineal.....	55
Figura 3.20. Paso 4 De Prueba Región Lineal, Gap Vs Experiment Time..	56
Figura 3.21. Paso 5 De Prueba Región Lineal.....	57
Figura 3.22. Paso 1 De Prueba De Características Reológicas.....	58
Figura 3.23. Paso 2 De Prueba De Características Reológicas.....	59
Figura 3.24. Paso 3 De Prueba De Características Reológicas.....	60



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con DM por Concentración.....	66
Tabla 2 ANOVA para G" DM por Concentración.....	69
Tabla 3 Pruebas de Múltiple Rangos para G" DM por Concentración.....	70
Tabla 4 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	73
Tabla 5 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	76
Tabla 6 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	76
Tabla 7 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 1% DM frente a la muestra blanco.....	78
Tabla 8 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 1% DM frente a la muestra blanco.....	81
Tabla 9 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 1% DM frente a la muestra blanco.....	82
Tabla 10 ANOVA para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con SSL por Concentración.....	85

Tabla 11 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con SSL por Concentración.....	85
Tabla 12 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestras con SSL por Concentración.....	88
Tabla 13 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestras con SSL por Concentración.....	88
Tabla 14 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	91
Tabla 15 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	94
Tabla 16 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	94
Tabla 17 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	98
Tabla 18 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	101
Tabla 19 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	102
Tabla 20 Kruskal Wallis para el efecto sobre el Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con DM y SSL.....	105
Tabla 21 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestras con DM y SSL.....	108
Tabla 22 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestras con DM y SSL.....	109

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de acuerdo a concentración de DM.....	67
GRÁFICO 4.2 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de acuerdo a concentración de DM.....	68
GRÁFICO 4.3 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) de acuerdo a concentración de DM.....	71
GRÁFICO 4.4 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de acuerdo a concentración de DM.....	71
GRÁFICO 4.5 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	74
GRÁFICO 4.6 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	74
GRÁFICO 4.7 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) DM baja frente a la muestra blanco.....	77
GRÁFICO 4.8 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de 0,3% DM frente a la muestra blanco.....	77
GRÁFICO 4.9 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de 1% DM frente a la muestra blanco.....	79
GRÁFICO 4.10 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de 1% DM frente a la muestra blanco.....	80
GRÁFICO 4.11 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) de 1% DM frente a la muestra.....	83

GRÁFICO 4.12 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de 1% dm frente a la muestra blanco.....	83
GRÁFICO 4.13 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con SSL por concentración.....	86
GRÁFICO 4.14 Diagrama de medias para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con SSL por concentración.....	86
GRÁFICO 4.15 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con SSL por concentración.....	89
GRÁFICO 4.16 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con SSL por concentración.....	90
GRÁFICO 4.17 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	92
GRÁFICO 4.18 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	92
GRÁFICO 4.19 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	96
GRÁFICO 4.20 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con 0,3% SSL frente a la muestra blanco.....	96
GRÁFICO 4.21 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	99
GRÁFICO 4.22 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	99
GRÁFICO 4.23 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	103
GRÁFICO 4.24 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con 0,5% SSL frente a la muestra blanco.....	103
GRÁFICO 4.25 Diagrama de cajas para módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de muestras con DM y SSL.....	106
GRÁFICO 4.26 Diagrama de medianas para módulo de almacenamiento ( $G''$ ) de muestras con DM y SSL.....	106

GRÁFICO 4.27 Diagrama de cajas para módulo de pérdida ( $G''$ ) DE muestras con DM y SSL.....	110
GRÁFICO 4.28 Diagrama de medias para módulo de pérdida ( $G''$ ) de muestras con DM y SSL.....	110
GRÁFICO 4.29 $G'$ Y $G''$ Vs Frecuencia Angular de SSL y DM con sus niveles de concentración.....	112

## INTRODUCCIÓN

La enfermedad celíaca es una enteropatía crónica caracterizada por una inadecuada respuesta inmunológica a la ingestión del gluten, proteína presente en muchos cereales como el trigo, avena, centeno y cebada (TACC). El gluten está compuesto por prolaminas tóxicas para los celíacos y la gliadina la cual constituye el mayor problema, ya que es la más utilizada en la industria alimentaria. Esta intolerancia produce una lesión en la mucosa intestinal provocando un daño grave en las vellosidades del intestino delgado, lo que disminuye la absorción de los nutrientes de los alimentos.

En la actualidad, hay un incremento del interés por productos libres de gluten debido al aumento de personas que padecen esta enfermedad. Uno de los productos que ha cautivado el interés científico es el pan sin gluten, siendo el reto reducir la retrodegradación del mismo.

Uno de los tipos de aditivos que se han usado para retardar el envejecimiento del pan son los emulsionantes.

El objetivo de la tesis es comparar el efecto de dos emulsionantes a dos diferentes concentraciones y analizar si éstos influyen favorablemente en las características viscoelásticas que se requieren en la masa de pan.

La harina de arroz es una de las alternativas más indicadas para el proceso de elaboración de panes sin gluten, debido a sus características únicas, como por ejemplo, sabor suave, incoloro, hipoalergénico, fácil de digerir y también tiene bajos niveles de proteína, sodio, grasa, y fibra.

# CAPITULO 1

## 1. PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

La población ecuatoriana no tiene muchos conocimientos sobre la enfermedad celiaca, lo que conlleva a que los habitantes que la padecen estén desatendidos. En los celíacos, el gluten causa una modificación en la estructura del intestino delgado que produce una destrucción de las vellosidades que se encuentran en su superficie. Esto podría desencadenar una desnutrición seria ya que las vellosidades son las encargadas de la absorción de nutrientes que contienen los alimentos.

El único tratamiento que existe para la enfermedad celiaca es eliminar el gluten de la dieta. Lo cual, crea una necesidad de elaborar



productos sin gluten así como también estudiar mejoras en la calidad de los mismos.

El principal problema que se encuentra en la elaboración de pan sin gluten es que las características reológicas de la masa con harina de arroz no presenta la misma viscoelasticidad que las masas con gluten. De cierta forma, se podría comparar la masa de harina de arroz con la masa de productos de pastelería, debido al efecto que ejerce el almidón con el agua. Al principio se obtiene una masa muy resistente pero poco a poco se convierte en una masa semilíquida.

Al no encontrarse gluten en su composición, estas masas no son capaces de retener el gas producido por la levadura en su estructura, en donde la única forma de que se retenga el gas es reemplazando el gluten con otro tipo de compuesto que realice las mismas funciones de un hidrocoloide.

## **1.2 Hipótesis**

El empleo individual de dos tipos de emulsificante, monoglicérido destilado y estearoil 2 lactilato de sodio, mejoran las características reológicas de la masa de pan sin gluten elaborada con harina de arroz.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar el efecto individual de dos agentes emulsionantes, monoglicérido destilado y estearoil-2-lactilato de sodio, en las características reológicas de la masa de pan con harina de arroz.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Evidenciar diferencia significativa del efecto de dos concentraciones del Monoglicérido destilado en la masa de pan sin gluten, frente a una muestra patrón sin aditivo.

- Evidenciar diferencia significativa del efecto de dos concentraciones del Estearoil-2-lactilato de sodio en la masa de pan sin gluten, frente a una muestra patrón sin aditivo.
- Comprobar diferencia significativa entre las características reológicas de la masa de pan con harina de arroz con la adición individual del Monoglicérido destilado y el Estearoil-2-lactilato de sodio en dos concentraciones cada una.

# CAPITULO 2

## 2. Fundamento Teórico

### 2.1. Concepto y parámetros fundamentales en Reología y Reometría

#### 2.1.1. Reología

Al estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales se lo denomina reología, que es una rama de la Física que puede definirse como la ciencia de la deformación de la materia.

La Reología, o ciencia de la deformación de la materia, se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvos, e incluso de la reducción a partículas, o molturación. (Muller,

1973). Formalmente, se podría definir a la reología como parte de la mecánica que estudia la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia.

Otra definición de Reología se la puede obtener del químico Kevin P- Menard quien en 1999 en su libro DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS la enuncia como el "estudio de deformación y fluidez de los materiales". Es decir, que la Reología, la "ciencia del flujo y la deformación", estudia las propiedades de gases, líquidos, plásticos, sustancias alifáticas, materiales cristalinos, entre otros; cuando estos son sometidos a una fuerza externa de deformación.

El estudio reológico de materiales en la industria ha tomado gran importancia en los últimos tiempos, debido a que muchas de las condiciones de trabajos en diferentes procesos, equipos e instalaciones de una fábrica son construidos de acuerdo a las propiedades reológicas de la materia o polímero que se va a manipular. Un gran número de industrias como la de plásticos, alimentos, pinturas, aceites, lubricantes, entre otras hacen uso de este tipo de estudios. (Ramírez, 2006).

El término de reología fue acuñado por primera vez por Bingham para describir el comportamiento de moldeo de materiales bajo la incidencia de calor y fuerza. (Menard, 1999).

## **2.1.2. Fuerza, Esfuerzo, y Deformación.**

### **2.1.2.1. Fuerza**

Generalmente una fuerza “F” se mide en términos de su capacidad para generar una aceleración, pero también es un agente capaz de deformar un cuerpo. (Ramírez, 2006). Si se aplica una fuerza sobre una muestra, se obtiene una deformación de la misma. Sin embargo, la fuerza es un modelo inexacto en la medición de una distorsión, es decir, que no constituye un criterio reológico útil. La fuerza ejercida por un cuerpo es igual al producto de su masa (m) y su aceleración (a), viene dado por la siguiente ecuación.

$$F = m * a \quad (\text{Ec1})$$

Es mucho más útil considerar una relación de fuerza sobre área (F/A), cociente al que se le denomina

“esfuerzo” o “tracción”. La unidad de fuerza es el Newton (N) y la de área el metro cuadrado (m<sup>2</sup>). De ahí, que el esfuerzo se mide en N/m<sup>2</sup>. Un Newton es la fuerza que aplicada sobre una masa de 1 kg produce una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>. (Muller, 1973).

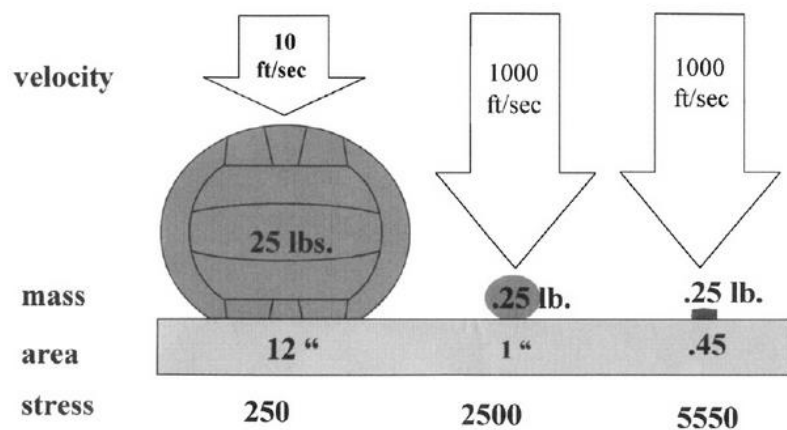
#### 2.1.2.2. Esfuerzo

El producto de una fuerza (F) a través de un área (A) es un esfuerzo,  $\sigma$ . El esfuerzo se da normalmente en libras por pulgadas cuadradas (psi) o pascales (Pa), y se lo puede calcular mediante un estudio físico.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec2})$$

Para obtener una mejor visión del análisis de materiales se debe visualizar la relación entre fuerza y esfuerzo, ya que si solamente se toma en cuenta uno de estos conceptos se puede obtener resultados equivocados que nos lleven a interpretaciones erróneas. Por ejemplo, en la figura 2.1 se puede evidenciar una relación entre fuerza y esfuerzo. Se tiene una bola con 25 lbs de peso que cae a una velocidad de 10 ft/s, mientras que una bola dura con 0,25 lbs cae a una velocidad de 1000 ft/s. La ecuación de la determinación de la fuerza ejercida por un

cuerpo ( $F=m*a$ ), nos dice que la magnitud de fuerza que generarán estos dos cuerpos al chocar con el piso es igual. Se espera que el daño causado por la pelota dura de 0,25 lb de peso sea mayor. Este daño es llamado deformación.



**FIGURA 2.1. FUERZA VS. ESFUERZO.**

Lo que se necesita obtener es la medición del área de impacto de las bolas con lo que se obtendrá el esfuerzo ( $\sigma = F/A$ ). A pesar de que la magnitud de las fuerzas generadas es la misma, el esfuerzo en el ejemplo varía de 250 a 2500 psi por la variación del área.

Si se programa una prueba en fuerzas y las muestras no son exactamente del mismo tamaño, los resultados serán diferentes debido a que las tensiones son diferentes. (Menard, 1999).



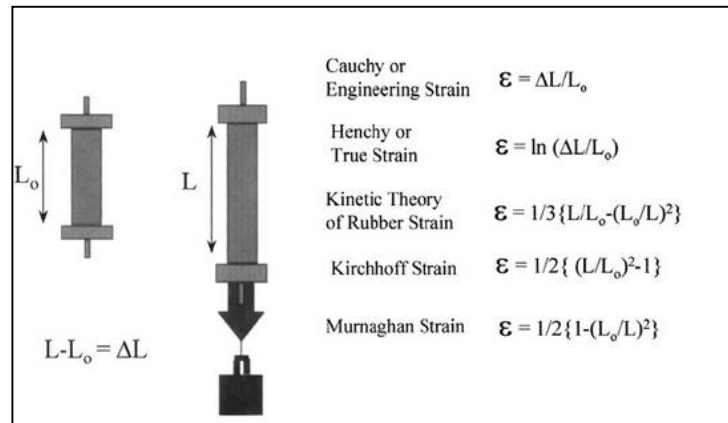
### 2.1.2.3. Deformación

Los cuerpos se deforman cuando sobre ellos actúa una fuerza, cuando se les somete a una tensión. Ejemplos típicos de deformación son el alargamiento y la compresión. (Muller, 1973). La aplicación de un esfuerzo causa una deformación del material y esta es llamada tensión ( $\gamma$ ), la cual es calculada mediante.

$$\gamma = \frac{\Delta Y}{Y} \quad (\text{Ec3})$$

Donde,  $Y$  es la dimensión original de la muestra, y  $\Delta Y$  es el cambio de dimensión por la acción de estrés. Esto usualmente es multiplicado por 100 y expresado en porcentaje de deformación. (Menard, 1999).

La figura 2.2 muestra como la aplicación de un esfuerzo a un cuerpo se transforma en deformación, además muestra como algunos tipos de deformación pueden ser calculados.



**FIGURA 2.2 EL RESULTADO DE LA APLICACIÓN DE UN ESFUERZO ES UNA DEFORMACIÓN.**

## 2.2 Propiedades Reológicas

Materiales suaves tales como suspensiones coloidales, emulsiones, espumas, dispersiones, o mezclas de polímeros están presentes en productos industriales y formulaciones. Estos exhiben comportamientos mecánicos únicos que muchas veces son claves o definen condiciones en su procesamiento y uso. (Wyss, Larsen, Weitz, 2007).

Para la evaluación de las propiedades reológicas existen métodos reológicos empíricos (tales como el uso del farinógrafo, alveógrafo y amilógrafo) son utilizados ampliamente por las industrias tanto por su rapidez como por su aspecto práctico. Sin embargo, se está buscando desarrollar nuevas técnicas de medición de propiedades

reológicas que tiene el propósito de entender el comportamiento reológico de los materiales. (Barajas y Col, 2009). Los métodos fundamentales presentan ciertas características: son independientes del equipo, de la cantidad y forma de muestra; miden propiedades físicas bien definidas y utilizan geometrías fáciles de analizar matemáticamente. Entre los métodos fundamentales se encuentran la determinación de la relación esfuerzo deformación, la prueba de relajación del esfuerzo, la prueba de deslizamiento (creep, en inglés) y el método dinámico, entre otros. (Barajas y Col, 2009).

El análisis dinámico (DMA) o el análisis térmico dinámico mecánico (DTMA) es una técnica utilizada para determinar las propiedades mecánicas de diversos materiales, entre ellos polímeros.

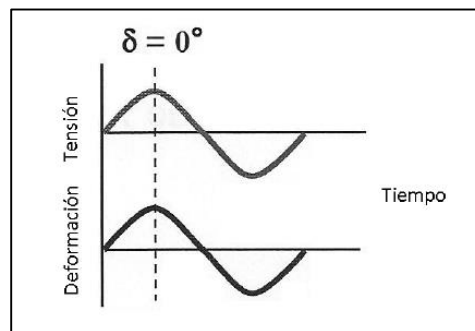
Los polímeros se comportan a su vez como sólidos elásticos y como fluidos viscosos, es decir, tienen un comportamiento viscoelástico. A diferencia de otros métodos de medida de propiedades mecánicas, el DMA es capaz de evaluar no sólo la componente elástica sino también el comportamiento viscoso o inelástico del material. (Garrido, 2010).

Es conocido que la reología oscilatoria permite analizar las mezclas de polímeros que poseen un comportamiento viscoelástico, es decir,

sistemas que presentan propiedades tanto viscosas como elásticas. (Wyss y Col, 2007).

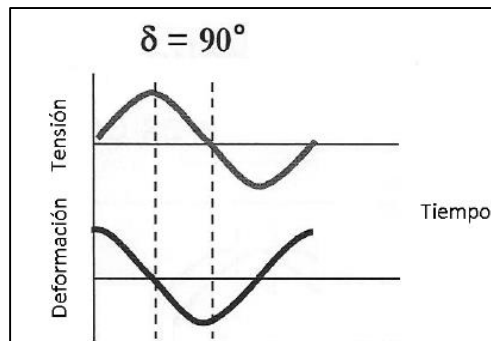
Al aplicar un esfuerzo (o al imponer una deformación) sinusoidal el material experimenta una deformación (o soporta una tensión) también sinusoidal. Ambas ondas están desfasadas un ángulo  $\delta$ , que puede tomar valores entre 0 y  $90^\circ$  dependiendo de la naturaleza del material (Garrido, 2010):

- En materiales puramente elásticos, tensión y deformación están en fase con  $\delta = 0^\circ$ . Esto se ilustra en la figura 2.3.



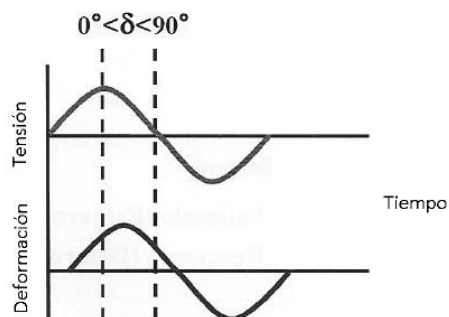
**FIGURA 2.3 COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL PERFECTAMENTE ELÁSTICO**

- Si el material es idealmente viscoso, el desfase entre la tensión y deformación será máximo,  $\delta = 90^\circ$ . Esto se puede observar en la figura 2.4.



**FIGURA 2.4 COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL PERFECTAMENTE VISCOSO**

- Para materiales reales el desfase toma valores intermedios. Los valores típicos para polímeros están en torno a  $\delta = 30^\circ$ . Se lo puede observar en la figura 2.5.



**FIGURA 2.5 COMPORTAMIENTO DE UN POLÍMERO REAL**

La medición de las propiedades dinámicas de los materiales en la reología oscilatoria se llevan a cabo en un reómetro empleando generalmente platos paralelos y una oscilación sinusoidal a bajas

deformaciones que requiere muestras pequeñas que no se destruyen.

Con el método dinámico es posible determinar características viscoelásticas de las masas dependientes de la frecuencia y los resultados son expresados como el módulo de almacenamiento ( $G'$ ), el módulo de pérdida ( $G''$ ) y la tangente del ángulo de fase ( $\tan \delta$ ). (Barajas y Col, 2009).

### **2.2.1 Módulo de Almacenamiento**

EL módulo de almacenamiento ( $E'$  ó  $G'$ ), es la medición de cuan elástico es el material, que cuantifica la energía que el material almacena de forma reversible en un ciclo de carga. Es decir, representa el comportamiento elástico del material. (Garrido, 2010).

### **2.2.2 Módulo de Pérdida**

El módulo de pérdida ( $E''$  ó  $G''$ ), representa el comportamiento viscoso debido a la pérdida irreversible de energía por efecto de la fricción interna entre cadenas moleculares, al desplazarse

unas respecto a otras para permitir la deformación macroscópica. (Garrido, 2010).

## **2.3. Reometría**

### **2.3.1 Definición**

La reometría es la parte experimental de la reología, es la ciencia que describe los instrumentos y los métodos de medición que permiten obtener datos reológicos de un material. Determina las relaciones cuantitativas y cualitativas entre la deformación y la tensión mecánica y sus derivadas. Un ejemplo típico de aplicación sería la viscosidad.

Los instrumentos usados para medir las características reológicas son los llamados reómetros, los cuales permiten someter al material en estudio a diferentes tipos de deformaciones controladas y medir los esfuerzos o viceversa. (Ramírez, 2006)

## **Reómetro**

El reómetro es un instrumento que mide tanto la historia del esfuerzo como la deformación de un material del cual no se conoce su relación constitutiva. (Ramírez, 2006)

### **Tipos de Reómetro**

#### **Reómetro Rotacional**

El funcionamiento de un reómetro rotacional se basa en la resistencia a la torsión que ofrece un líquido al giro de un husillo de características conocidas, sumergido en dicho líquido. El cilindro o disco giratorio, está acoplado con un muelle al árbol motor que gira a velocidades determinadas.

El ángulo de desviación del eje se mide electrónicamente dando la medida de torsión. Los cálculos realizados dentro de los reómetros se realizan a partir de las medidas de la fuerza de torsión, de la velocidad del eje y de sus características y ofrecen una lectura directa de la viscosidad en centipoises o Pas.

Los reómetros disponen de varios tipos de husillos y con una extensa gama de velocidades, proporcionando así una gran



capacidad de medida de viscosidad. Para cualquier líquido de viscosidad determinada, la resistencia al avance aumenta proporcionalmente a la velocidad de rotación del husillo o al tamaño del mismo. Las combinaciones de husillos y velocidades, permiten elegir una escala óptima para cualquier medición, dentro de la gama del equipo. Los cambios de rango pueden realizarse utilizando el mismo husillo a diferentes velocidades para determinar las propiedades reológicas de un líquido.

También son denominados reómetros de flujo de arrastre, en ellos se proporciona al material un flujo rotacional en un determinado espacio intersticial, su limitación es que solo pueden operar hasta un máximo de velocidad de corte de  $1 \text{ s}^{-1}$ . (Gonzales, 2009)

### **Reómetros de Tubo Capilar**

En este tipo de reómetros el fluido es forzado a pasar por un ducto capilar. Uno de los problemas más frecuente de este tipo de reómetros es que la fuerza de cizalla aplicada no es uniforme y la medición de la viscosidad debe ser corregida por varios factores como aquellos relacionados con el efecto de

entrada y salida del capilar, deslizamiento en las paredes y una reología no Newtoniana. Los reómetros capilares permiten alcanzar velocidades de corte extremadamente altas (100.000 - 2.000.000 1/s).

Una ventaja de los viscosímetros capilares de vidrios operados con gravedad, es que son adecuados para fluidos newtonianos, dado que la tasa de deformación varía durante la descarga.

En el caso del reómetro de tubo o capilar se impone un gradiente de presiones  $dP/dx$  y se mide el caudal  $Q$ , de donde, conociendo el diámetro  $D$  se calcula  $V$ . Con el gradiente de presiones y  $D$  se calcula la tensión tangencial. (Gonzales, 2009).

#### **2.4. Características reológicas de la masa de pan**

Las características reológicas de la masa de pan son un buen factor indicativo de su calidad. Al determinar estas propiedades se simulan las operaciones necesarias para elaborar el pan. Para evaluar el comportamiento en el amasado se utiliza generalmente instrumentos

como farinógrafo, consistógrafo, Mixolab de Chopin, y Reómetros entre otros ya mencionados.

Se ha establecido que las características reológicas de la masa de pan van a depender mucho de los ingredientes que se utilizan. Es así como la calidad que se le exige a la harina depende principalmente del tipo de pan a elaborar y las condiciones del proceso al que se va a someter. (Hernández y Majem, 2010).

La realidad es que no se puede ofrecer una definición concisa de pan porque se caracteriza por todos los ingredientes que se utiliza para fabricarlo. Un importante suceso en la elaboración de pan es la formación de gluten, un fenómeno que no ocurre en las tortas, y tampoco en panes elaborados con harina de arroz. (Cauvain y Young, 2002).

Un ingrediente importante que influye mucho en las características reológicas, es el agua. Su adición en las cantidades correctas es esencial para modificar la reología de la masa. El nivel de humedad residual en el producto horneado adquiere, igualmente, importancia en la contribución a las características del pan. La adición de agua en exceso o demasiado poca durante el amasado implica que no se pueda lograr la calidad idónea del gluten que permita atrapar los

gases procedentes a la fermentación. Las características reológicas del pan dependen poderosamente, pues de la formación de la red de gluten en la masa, no solo para atrapar el gas procedente de la fermentación sino también porque contribuye directamente a la formación de una estructura alveolar en la miga que, tras el horneado confiere una textura y palatabilidad diferente a la de otros productos horneados. Esta miga se deforma cuando se expone a la presión de los dedos y cuando esa fuerza cesa, retorna a su forma original, al menos si el producto está seco. Esta combinación de miga con estructura alveolar y la capacidad de recuperación después de una compresión marcan una clara distinción entre los panes y otros productos horneados. Esas características peculiares son las que los panaderos intentan conseguir en la mayoría de los panes. (Cauvain y Young, 2002).

La masa de pan que se quiere evaluar es carente de gluten por lo tanto se tendrá que usar gomas, emulsionantes, o enzimas junto con la harina de arroz para poder obtener la viscoelasticidad deseada.

Una característica reológica importante mencionar es la consistencia de la masa. Esta tiene mucha relación con el mezclado de los ingredientes, donde se busca una dispersión completa y uniforme de los mismos. Por lo tanto, se define la consistencia como el estado de

estabilidad, flexibilidad y unión de todos los ingredientes de la masa. En cierta medida, la consistencia es un reflejo de un correcto amasado (Calaveras, 1996).

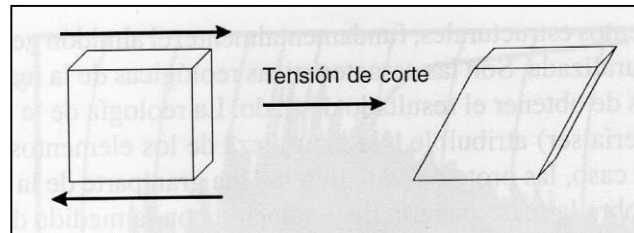
Existen investigaciones en donde se ha llegado a la conclusión de que se necesita la adición de gomas y emulsificantes para obtener las propiedades físicas deseadas en las masas de pan sin gluten. En el caso de las gomas, son las más efectivas en mejorar la estructura de la masa y los emulsificantes mejoran de forma significativa la firmeza y volumen específico del pan horneado sin gluten. (Demirkessen y Col, 2009)

Existen dos fuerzas implicadas en la reología de la masa de pan, y estas son: cizalla o corte y de extensión o tracción.

En la tensión de cizalla se aplican fuerzas opuestas y paralelas entre sí, en direcciones opuestas al elemento matriz. Cuando permanece constante y el elemento vuelve a su forma original cuando cesa la tensión, la deformación elástica y el módulo elástico se define como:

$$E = \frac{\textit{Tensión}}{\textit{Deformación}} \quad (\text{Ec4})$$

Es así como se puede concluir que cuanto más sólido sea el material, E va a ser mayor. A continuación se ilustra este tipo de deformación en la siguiente figura 2.6.

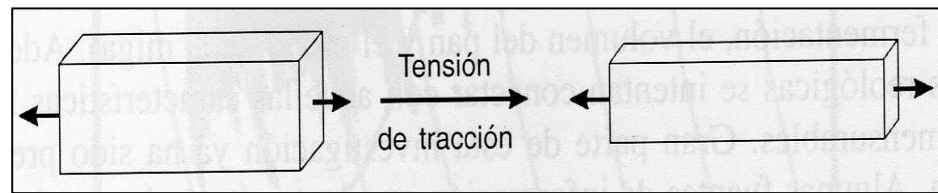


**FIGURA 2. 6. DIAGRAMA DE DEFORMACIÓN POR CIZALLADURA**

Cuando la deformación disminuye en función del tiempo y el elemento no vuelve a su forma original al dejar de aplicar la tensión, la deformación es viscosa. Para los fluidos newtonianos la viscosidad se define como:

$$\mu = \frac{\textit{Tensión}}{\textit{Velocidad}} \quad (\text{Ec5})$$

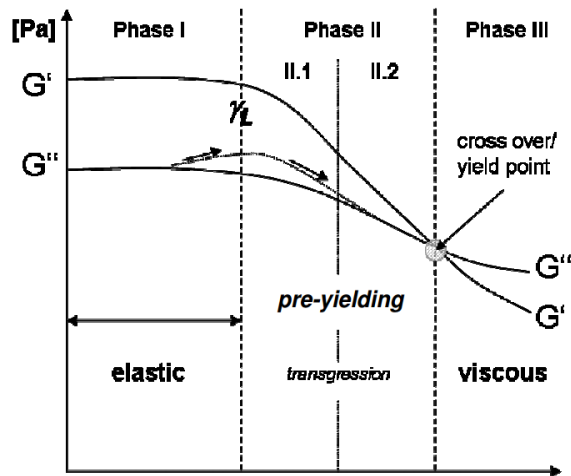
Por otro lado, en la tensión de tracción, las fuerzas opuestas se aplican en direcciones opuestas, pero en las caras opuestas del elemento matriz. Esto se ilustra en la siguiente figura 2.7.



**FIGURA 2. 7. DIAGRAMA DE DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN**

Mientras que en la cizalla, el elemento mantiene la misma sección transversal, en la extensión dicha sección transversal disminuye a medida que el elemento se elonga, lo que produce también una disminución del área y un aumento del volumen. La masa de pan es viscoelástica, es decir, tiene características viscosas y elásticas al mismo tiempo (Cauvain y Young).

Las características reológicas que se evalúan en el presente trabajo, son módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) y su relación ( $\tan \delta = G''/G'$ ).



**FIGURA 2.8. DIAGRAMA IDEALIZADO DE MÓDULO DE ALMACENAMIENTO  $G'$  (PA) Y EL MÓDULO DE PÉRDIDA  $G''$  (PA) VS DEFORMACIÓN (%).**

El módulo elástico está asociado con la energía almacenada en el material, mientras que el módulo viscoso, es asociado con la energía disipada por el material.

Como se aprecia en la figura 2.8, en la primera fase el  $G'$  predomina al  $G''$ , la materia se comporta como elástico y la  $\tan \delta < 1$ . Al término de la fase dos existe un cruce de curvas, y esto es debido a que se encuentra un equilibrio entre la parte elástica y viscosa de la materia, teniéndose  $\tan \delta = 1$ . Por otro lado, en la fase 3, predomina el componente  $G''$  del  $G'$  comportándose como un material viscoso en donde  $\tan \delta > 1$ . (Wibke Markgraf y Col, 2010)



En investigaciones previas por Korus et al 2008 evaluaron estas dos características reológicas en masas de pan sin gluten con diferentes sustituyentes de harina de trigo como arroz, tapioca, maíz, o la combinación de estas, y se encontró siempre un predominio del componente elástico sobre el viscoso en donde la  $\tan \delta$  es mayor a 0.1, lo que quiere decir que las características reológicas observadas son típicas de un gel débil.

Por otro lado, en el estudio de Demirkesen y Col 2009, comprobaron que las propiedades reológicas de la masa de pan con harina de trigo tienen mayor elasticidad y menor módulo de pérdida comparado con la masa de pan de harina de arroz la cual le adicionaron algunos emulsificantes como goma xantana y goma guar.

Se dieron cuenta que la masa de harina de arroz no tiene una estructura elástica fuerte, como la tiene la masa de harina de trigo, y que la adición de goma xantana en su fórmula proporciona los valores más altos de los módulos, concluyendo que usando emulsificantes se puede incrementar significativamente ambos módulos viscoso y elástico de la masa con harina de arroz.

# CAPITULO 3

## 3. Materiales y Métodos

### 3.1. Materia Prima y Aditivos

#### Harina de Arroz

La harina de arroz puede usarse como sustituto parcial de la harina de trigo para hacer pan, aunque debido a su bajo contenido de gluten no puede constituir más del 30% de la mezcla de harina, a menos que se agregue un emulsificante a la mezcla. La harina de arroz se usa en productos amasados que se destinan a persona alérgicas a la harina de trigo y otros cereales. No obstante la cantidad que se produce de harina es poca (Chandler, 1984). La harina de arroz utilizada en la investigación es envasada por la empresa Estrella del

Litoral Elito S.A. y fue adquirida por una cadena de supermercados de la región como los demás ingredientes.

### **Azúcar**

El azúcar o sacarosa es el producto que se obtiene a partir de la caña de azúcar mediante un proceso industrial de extracción. Su principal propiedad funcional es incrementar la capacidad de producción de gas de la masa. Sirven de fuente de alimento para la levadura durante el proceso de fermentación. Es importante mencionar que no todos los azúcares son fermentables por la levadura. Otra propiedad funcional es la organoléptica. Dependiendo de la cantidad añadida, puede afectar no solo al sabor sino también a la textura y apariencia del producto terminado.

Los azúcares no fermentados durante el procesamiento de la masa permanecen como tales y son también útiles, ya que tienden a retener humedad y a darle un color dorado a la corteza del pan. (Boatella. 2004)

Este ingrediente fue adquirido por una cadena de supermercados de la región.

### **Aceite de Girasol**

El aceite se utiliza en productos de panificación para mejorar la textura de la miga. Tienden a ablandar la miga lo cual puede ser percibido como un síntoma de frescura en el producto. También ayudan a la retención de gas durante la expansión de la masa en las primeras etapas del horneado. Son muy buenos disolventes de los aromas por lo cual ayudan a retener algunos de estos durante el horneado. Mejora la etapa de rebanado ya que ayuda a lubricar las cuchillas y previene la formación de un depósito gomoso de restos de miga sobre las mismas. (Boatella. 2004). El aceite utilizado fue adquirido por una cadena de supermercados de la región.

### **Sal**

La sal común tiene varios efectos sobre la masa: disminuye la capacidad de producción de gas de la levadura, afecta a la reología de la masa en cuanto a disminuir la consistencia de la misma, y también, es un potenciador del sabor. Al disminuir la capacidad de producción de gas de la levadura de forma importante, se la considera a la sal, como un regulador de la fermentación. (Boatella. 2004). Este ingrediente fue adquirido por una cadena de supermercados de la región.

## **Agua**

El agua es un cuerpo formado por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, cuya fórmula química es  $H_2O$ . Es líquida, inodora, insípida e incolora, disuelve muchas sustancias. El agua empleada debe ser potable y con un buen estado sanitario. El agua constituye la tercera parte de la cantidad de harina que se va a emplear. El agua forma un papel fundamental en la formación de la masa, ya que en ella se disuelven todos los ingredientes, permitiendo una total incorporación de ellos, en la fermentación, en el sabor y frescura finales del pan. También hidrata los almidones, que junto con el gluten dan como resultado una masa plástica y elástica. El agua hace posible la porosidad y buen sabor del pan. (Sánchez, 2003). El agua que se utilizó fue adquirida por una cadena de supermercados de la región.

## **CMC**

Es un derivado de la celulosa y se lo utiliza como regulador de la viscosidad, en la producción de estabilizadores y emulsificadores, cosméticos, farmacéuticos o alimentarios.

El CMC se disuelve rápidamente con agua fría y son utilizados comúnmente para controlar la viscosidad sin gelificar. Es utilizada en las masas de pan porque ayuda a la retención del gas producido por la levadura. (22)

## **Monoglicérido Destilado (DM, E471)**

Se utiliza como ablandador de la miga y actúa al unirse a la fracción amilosa del almidón de trigo. Esta unión se produce a temperaturas elevadas, típicas del horneado. Al producirse la unión, se retrasa la retrodegradación del almidón durante el enfriado y el posterior almacenamiento, por lo que puede asegurarse que esta sustancia retarda el envejecimiento.

El monoglicérido por si solo tiene únicamente una función en las masas fermentadas por levaduras: ablandar la miga del producto tras su horneado y colaborar en el mantenimiento de la blandura extra durante unos tres días. No participa en la retención de gas y, por tanto, no mejora la estabilidad durante la fermentación, ni el volumen

del producto terminado, ni el color de la miga, ni tampoco su textura (Cauvain, Young, 2002). Este aditivo fue proporcionado por una industria panadera de la región.

### **Estearoil-2-lactilato de sodio (SSL, E482)**

La utilización de SSL en productos de panadería está permitida en el Reino Unido hasta una concentración de 3 g/kg de pan y 5 g/kg en repostería, en términos de peso del producto terminado.

El SSL es un sólido blanco, tiene un punto de fusión relativamente elevado y puede añadirse a las masas en forma pulverulenta, bien solo o bien como parte de un componente acondicionador de la masa. Es miscible con la grasa y, por consiguiente, es un componente ideal para concentrados grasos.

Mejora la retención del gas en la masa aunque, peso a peso, tiene menos rendimiento. Al mismo tiempo se ha demostrado que esta sustancia proporciona una extensión de la vida útil del producto en términos de blandura. Es capaz de unirse con la amilosa de forma similar a como lo hacen los monoglicéridos destilados, lo que debe contribuir a su efecto como ablandador de miga.

El modo de utilización ideal del SSL es formando parte de un acondicionador de masa que contenga un componente graso, junto con la sal, el azúcar y los agentes para el tratamiento de harinas. Los productos a los que se adapta perfectamente son aquellos que contienen azúcar y grasa. Estos dos elementos se combinan de tal manera que el SSL resulta un emulsionante atractivo para bastantes productos de panadería y repostería, motivo por el que su utilización continua creciendo. Este emulsificante fue proporcionado por una industria panadera local.



### **3.2. Elaboración de la masa de pan**

La formulación de la muestra fue tomada de un estudio previo realizado por Marco y Rosell 2008. A continuación se detalla los pasos para la elaboración de las muestras.

Primero, se procedió a pesar los ingredientes de acuerdo a la formulación mencionada. El agua a 95° se mezcló con la mitad de la harina de arroz con un agitador durante 5 minutos. Luego se dejó reposar por 15 minutos. Posteriormente, se agregaron los ingredientes faltantes incluyendo el resto de agua y harina de arroz. Finalmente, se realizó un mezclado manual de otros 5 minutos teniendo la masa que fue sometida a la investigación.

### **3.3. Determinación de la metodología de uso del Reómetro en el laboratorio LEMAT de ESPOL en muestras de masa de pan**

#### **3.3.1. Preparación de Muestras**

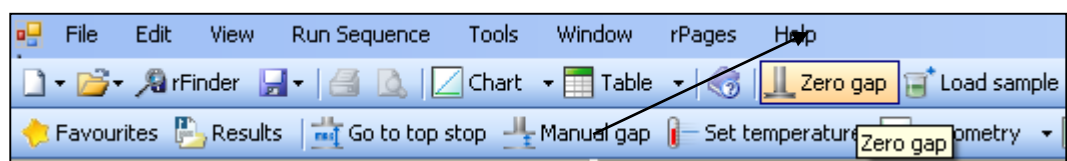
##### **Zero Gap**

Para empezar la experimentación se tiene que encerrar el equipo para eso se realizó la operación de "Zero gap", la cual se procede de la siguiente manera:

1. Una vez inicializado el software controlador del equipo, hacer clic en "Zero Gap".

### FIGURA 3.1. PASO 1 DE ZERO GAP

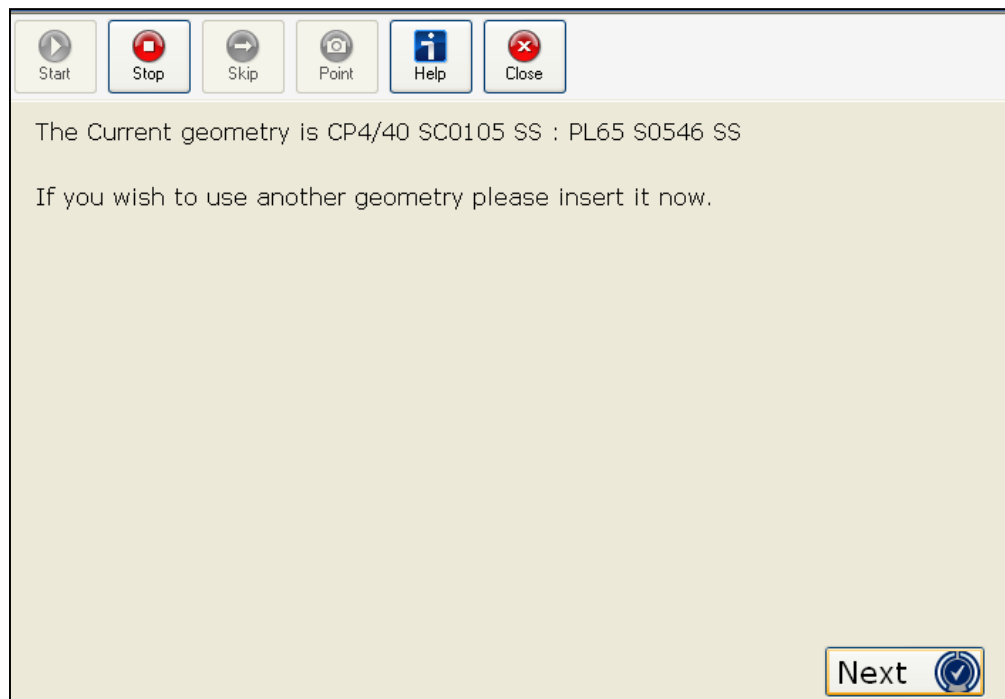
ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Hacer clic en  
el botón "Zero  
Gap"

2. El software le pide al usuario que inserte el plato y la geometría deseada.

**FIGURA 3.2. PASO 2 DE ZERO GAP**  
ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Una vez  
colocada se  
hace clic en  
"Next"

3. Abrir la cubierta que protege la muestra.

### FIGURA 3.3. PASO 3 DE ZERO GAP

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



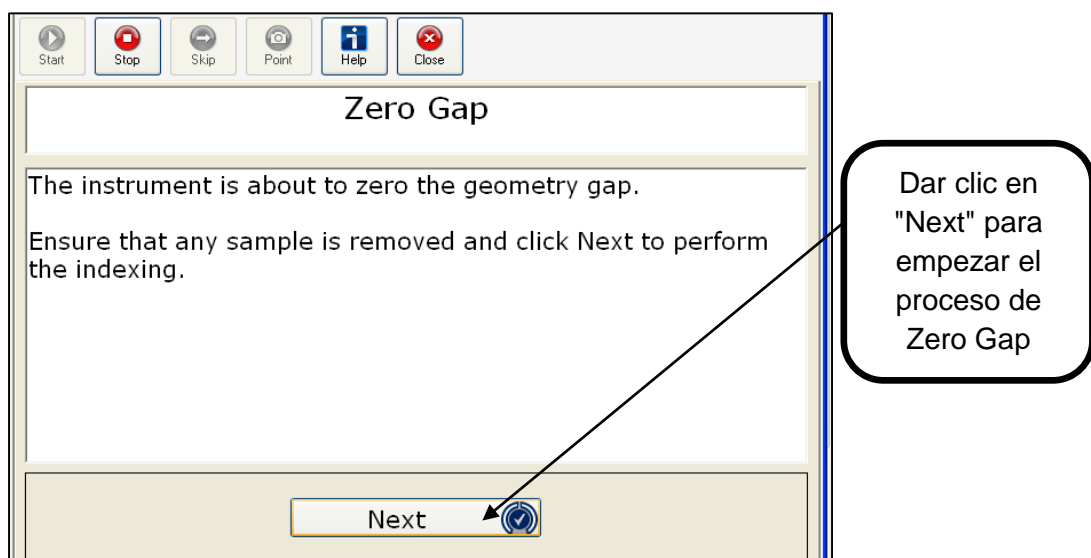
Una vez  
abierta hacer  
clic en "Next"

El mensaje se  
repetirá hasta  
que se abra la  
cubierta  
correctamente.

4. Asegurarse que cualquier muestra haya sido removida del equipo.

### FIGURA 3.4. PASO 4 DE ZERO GAP

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



En este momento, la operación ha comenzado y se puede observar que el plato superior se estabiliza y se dirige hacia el plato inferior hasta encontrar  $\text{gap}=0$  mm.

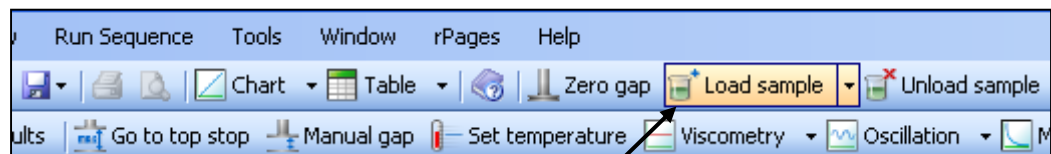
## Load Sample

Una vez que se ha completado la operación Zero Gap se puede empezar cargando la muestra al equipo para lo cual se utiliza el comando "Load Sample". Los pasos se detallan a continuación.

1. Hacer clic en la opción "Load Sample".

### FIGURA 3.5. PASO 1 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

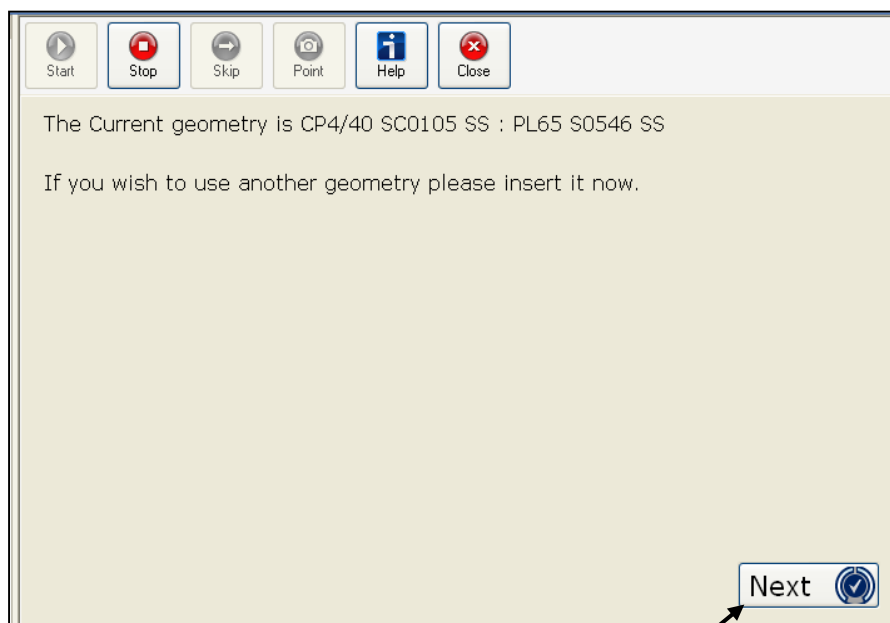


Hacer clic  
en la  
opción  
"Load  
Sample"

2. El software reconocerá la geometría insertada, de lo contrario le pedirá que la inserte para su reconocimiento. Para la determinación de la región lineal, se utilizó una geometría de cono y plato, el primero con 40mm de diámetro y ángulo de 4°, y el segundo con 40mm de diámetro.

### FIGURA 3.6. PASO 2 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

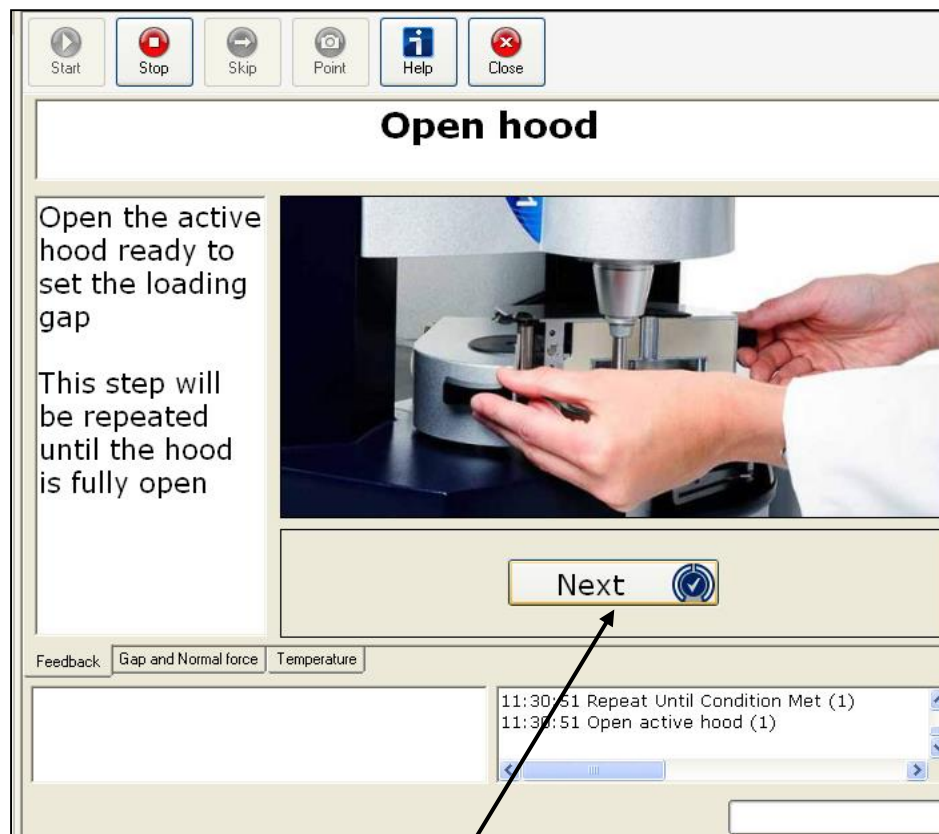


Luego haga clic en "Next"

3. EL software indicará que se debe abrir la cubierta.

### FIGURA 3.7. PASO 3 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Una vez  
hecho esto  
hacer clic  
en "Next"



4. El usuario deberá seleccionar el tipo de muestra así como también el nombre de la misma.

### FIGURA 3.8. PASO 4 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

Start Stop Skip Point Help Close

Step 1 : Choose Material Type

Category : All Available Materials for Categories Selected

Material : Household emulsion

Step 2 : Enter Sample Description

Description : masa de pan arroz con cmc\_1

Step 3 : Edit Sample Properties

Sample properties	Batch number	Material	Notes

Sample properties

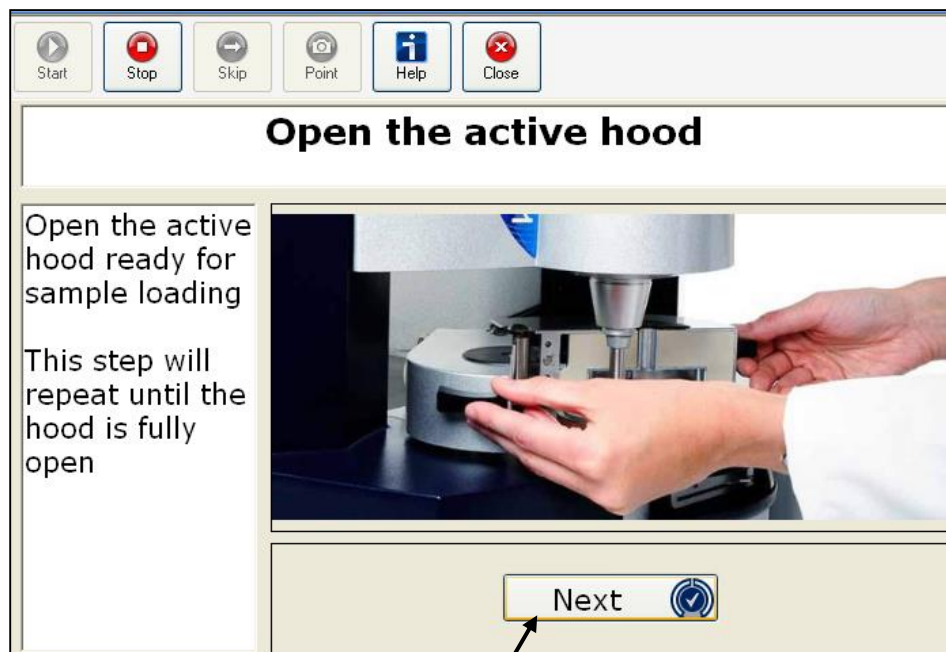
Next

Dar clic  
en  
"Next"

5. El software indica que se debe abrir la cubierta. Este paso se repetirá hasta que la cubierta haya sido abierta correctamente.

### FIGURA 3.9. PASO 5 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

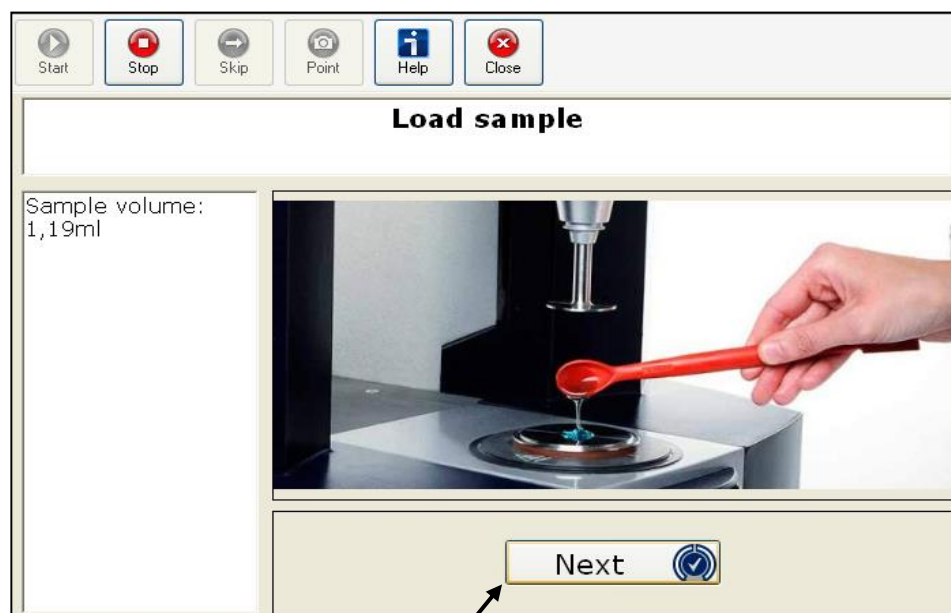


Una vez  
hecho  
esto  
hacer  
clic en  
"Next"

6. Se procede a verter la muestra sobre el plato inferior con la ayuda de la cuchara auxiliar del kit del equipo. Se debe verter la muestra en el centro del disco inferior y procurando que sea una mínima cantidad.

### FIGURA 3.10. PASO 6 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

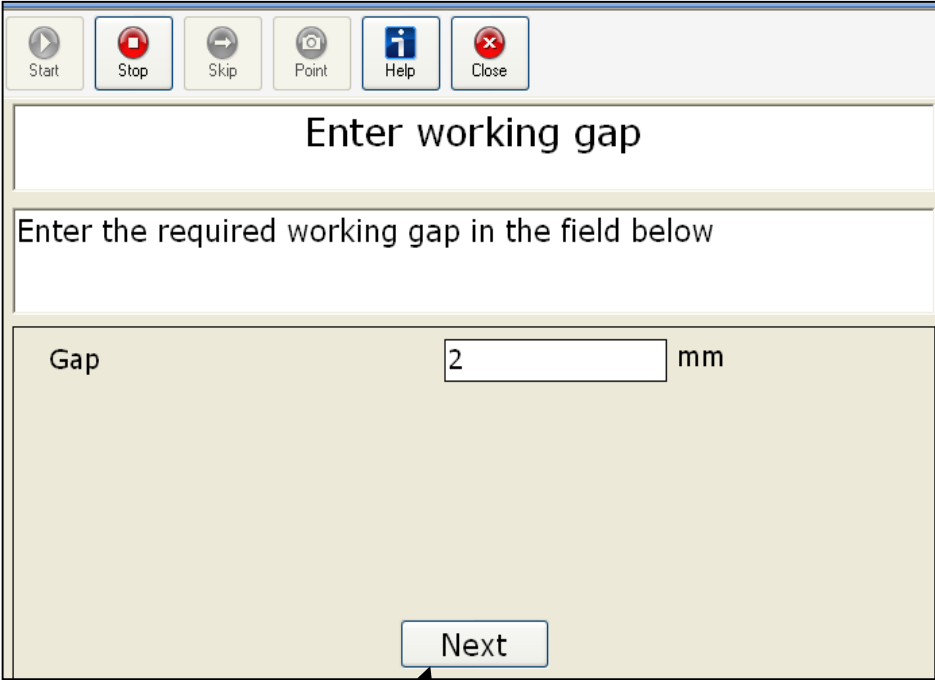


Una vez  
hecho esto  
hacer clic  
en "Next"

7. El software le pedirá al usuario que especifique el gap requerido para la experimentación. En el caso de esta investigación, se utilizó 2mm.

### FIGURA 3.11. PASO 7 LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Start Stop Skip Point Help Close

Enter working gap

Enter the required working gap in the field below

Gap 2 mm

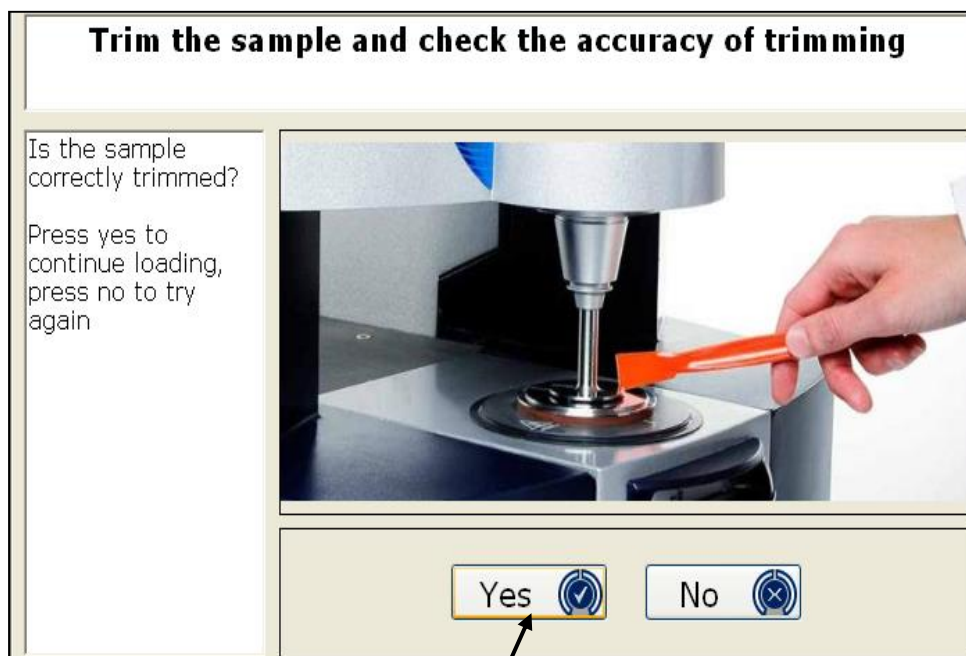
Next

Hacer clic en "Next".

8. Se debe limpiar el exceso de muestra, ya que de lo contrario existirán errores en la medición.

### FIGURA 3.12. PASO 8 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

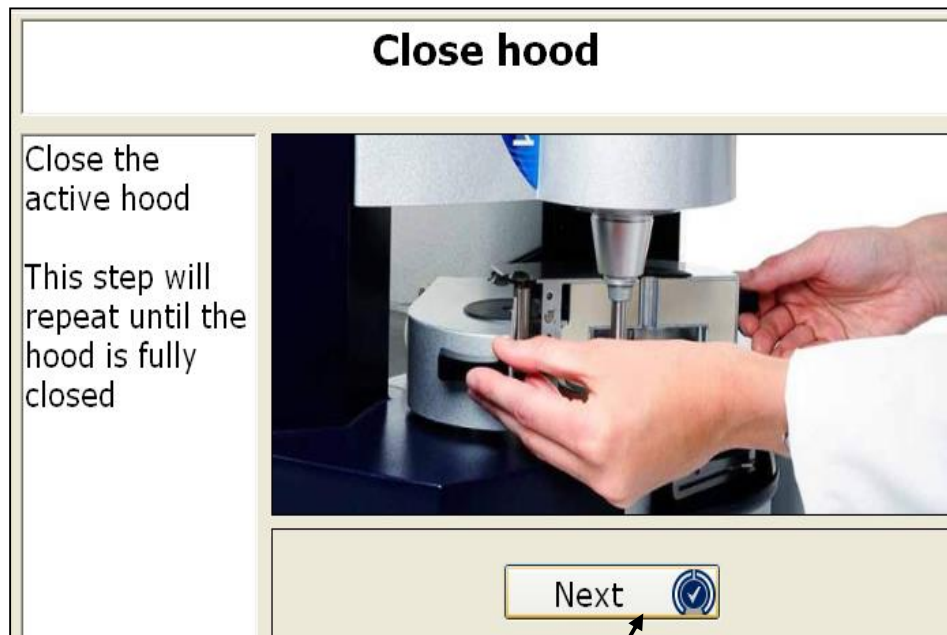


Una vez  
hecho  
esto  
hacer clic  
en "Yes"

9. Por último, cierre el capó.

### FIGURA 3.13. PASO 9 DE LOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Oprima  
el botón  
"Next"

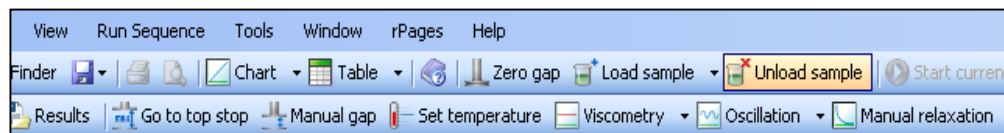
## Unload Sample

Una vez terminada la corrida, el siguiente paso es retirar la muestra del equipo (unload sample), es un procedimiento que permite limpiar las geometrías para posteriormente realizar un zero gap lo que deja listo el equipo para una nueva medición o simplemente para ser apagado.

1. Una vez concluida la medición y obtenidos sus resultados, dar clic en “Unload Sample”.

### FIGURA 3.14. PASO 1 DE UNLOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

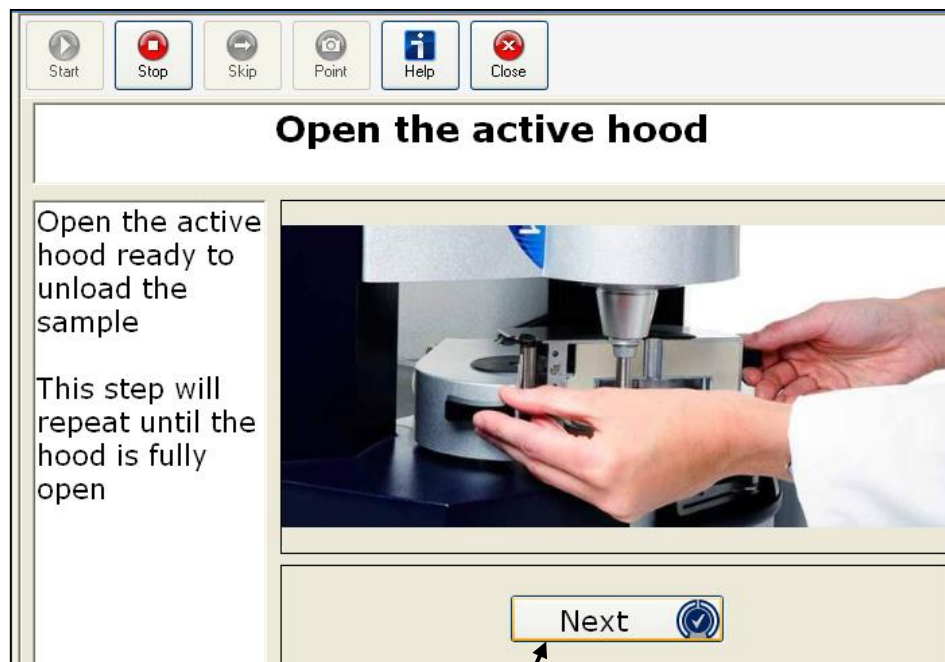


Dar clic en  
“Unload  
Sample”

2. Abrir cuidadosamente la cubierta de la muestra, tal como lo indica el software controlador del equipo.

### FIGURA 3.15. PASO 2 DE UNLOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Una vez  
hecho esto,  
dar clic en  
"Next"



3. Limpiar la muestra del instrumento. Si es necesario remover las geometrías y limpiar. Se recomienda utilizar un paño húmedo.

### FIGURA 3.16. PASO 3 DE UNLOAD SAMPLE

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Una vez limpio el equipo dar clic en "Next"

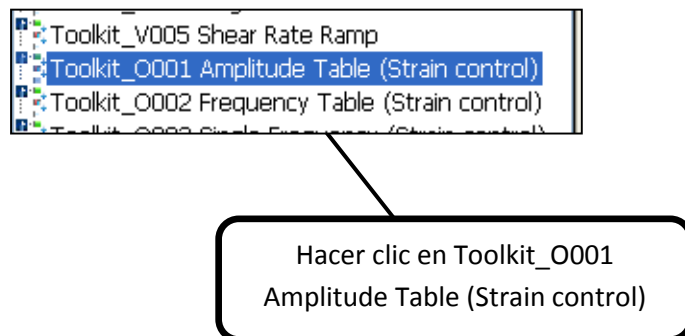
### 3.3.2. Parámetros de Uso

A continuación se detalla el procedimiento de una prueba para la determinación de la región lineal, en donde se utilizó geometría de cono y plato, el primero con 40mm de diámetro y ángulo de 4°, y el segundo con 40mm de diámetro.

1. Se debe elegir la secuencia que se desea realizar, para la determinación de la región lineal se eligió: Toolkit \_O001 Amplitude Table (Strain Control).

#### FIGURA 3.17. PASO 1 DE PRUEBA REGIÓN LINEAL

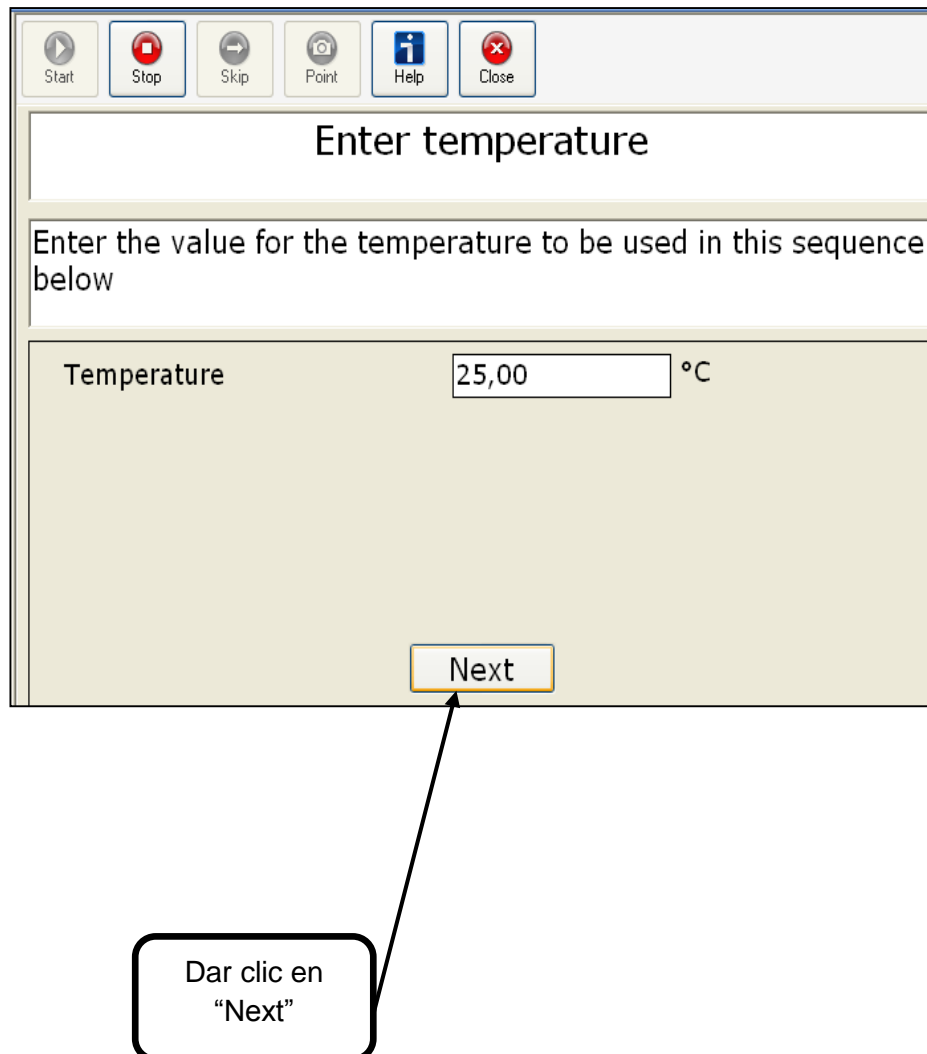
ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



2. Ingresar la temperatura deseada por el usuario. En esta investigación se utilizó 25°C.

**FIGURA 3.18. PASO 2 DE PRUEBA REGIÓN LINEAL**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



The image shows a software interface window titled "Enter temperature". At the top, there is a toolbar with six icons: Start (play button), Stop (red square), Skip (right arrow), Point (camera), Help (person), and Close (red X). Below the toolbar, the text "Enter temperature" is displayed. Underneath, there is a text box containing the instruction "Enter the value for the temperature to be used in this sequence below". Below this text box, there is a label "Temperature" followed by a text input field containing the value "25,00" and a unit label "°C". At the bottom of the window, there is a button labeled "Next". An arrow points from a callout box below the "Next" button to the button itself. The callout box contains the text "Dar clic en 'Next'" (Click on 'Next').

Start Stop Skip Point Help Close

Enter temperature

Enter the value for the temperature to be used in this sequence below

Temperature 25,00 °C

Next

Dar clic en "Next"

3. Ingresar todos los parámetros de operación de la corrida. Para nuestra investigación, se utilizó un "shear strain" de 0,1 a 100% a una frecuencia constante de 1 Hz.

### FIGURA 3.19. PASO 3 DE PRUEBA REGIÓN LINEAL

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

Start shear strain  %

End shear strain  %

Frequency  Hz

Samples per decade

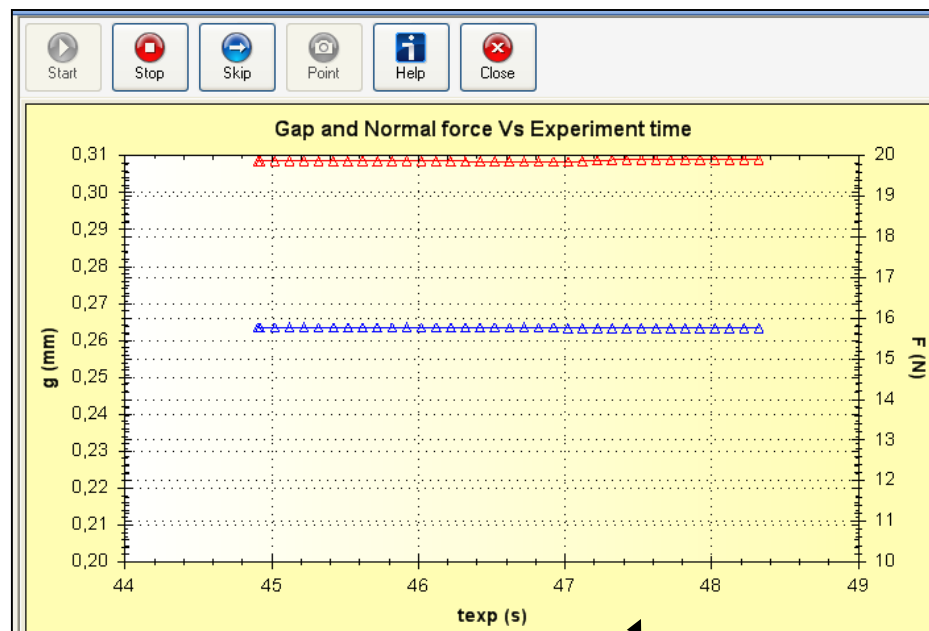
Next

Hacer clic en "Next"

4. Una vez iniciada la prueba, se muestran los siguientes gráficos lo que indica que la secuencia ha empezado.

**FIGURA 3.20. PASO 4 DE PRUEBA REGIÓN LINEAL,  
GAP VS EXPERIMENT TIME**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

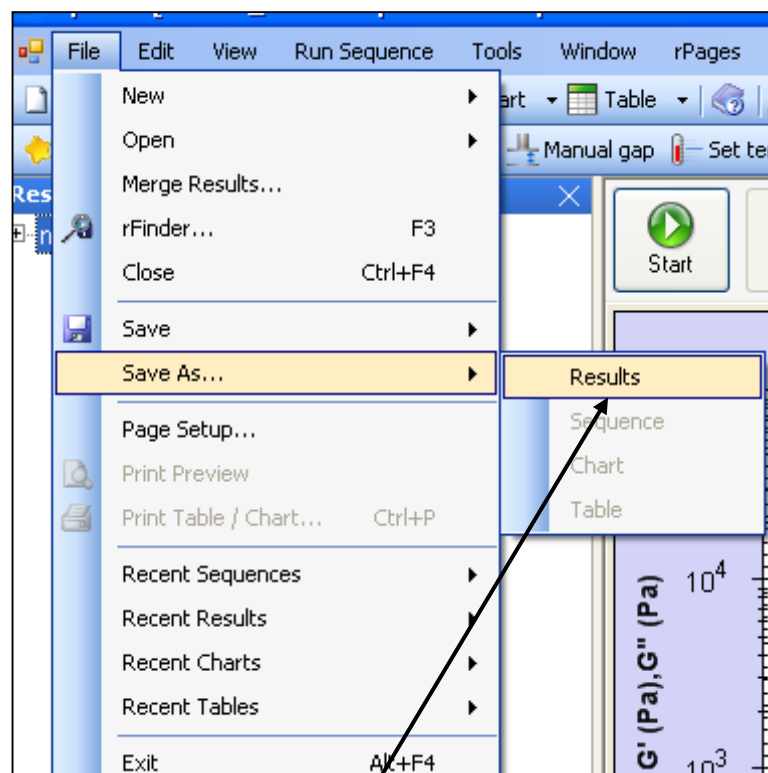


Gap and  
Normal  
Force  
vs  
Experiment  
time

5. Una vez concluida la secuencia se graban los resultados y se hace clic en "File", luego al submenú "Save As" y por último, hacer clic en "Results".

### FIGURA 3.21. PASO 5 DE PRUEBA REGIÓN LINEAL

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013

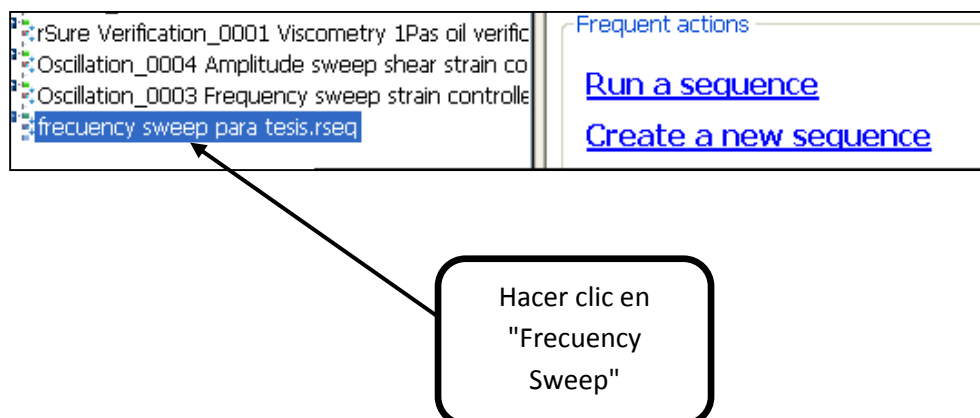


A continuación se detalla el procedimiento de una prueba para la determinación del comportamiento de los módulos de pérdida y almacenamiento ( $G'$  y  $G''$ ) bajo frecuencia angular. La geometría utilizada fue de platos paralelos, el de arriba con 20mm de diámetro y el de abajo con 40 mm de diámetro.

1. Seleccionar la secuencia que se desee realizar, para este caso se trata de "Frequency Sweep".

### FIGURA 3.22. PASO 1 DE PRUEBA DE CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS

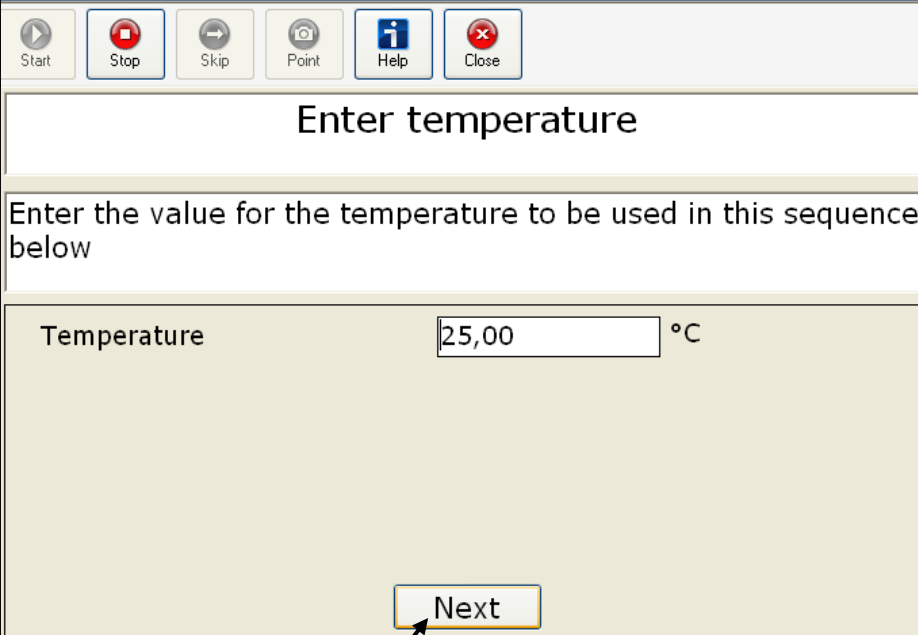
ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



2. Ingresar la temperatura a la cual se desea correr la secuencia. En el caso de esta investigación se utilizó 25°C.

**FIGURA 3.23. PASO 2 DE PRUEBA DE  
CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Start Stop Skip Point Help Close

**Enter temperature**

Enter the value for the temperature to be used in this sequence below

Temperature  °C

Next

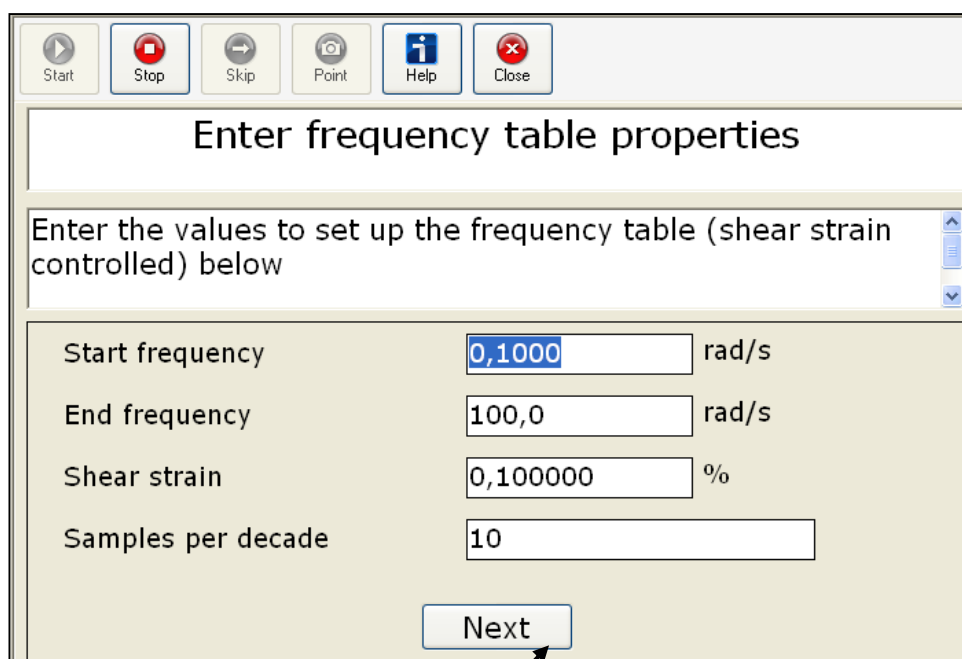
Dar clic en  
"Next"



3. Ingresar todos los parámetros de operación. Se utilizó una frecuencia angular de 0,1 a 100 rad/s con una deformación constante de 0,1% (establecida por la región lineal).

**FIGURA 3.24. PASO 3 DE PRUEBA DE  
CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Start Stop Skip Point Help Close

**Enter frequency table properties**

Enter the values to set up the frequency table (shear strain controlled) below

Start frequency	<input type="text" value="0,1000"/>	rad/s
End frequency	<input type="text" value="100,0"/>	rad/s
Shear strain	<input type="text" value="0,100000"/>	%
Samples per decade	<input type="text" value="10"/>	

Next

Hacer clic en  
"Next" para  
empezar la  
medición.

### 3.4. Diseño de Experimentos

Se aplicó un diseño experimental el cual consiste de recolección de muestras por triplicado, es decir, por cada tipo de muestra (blanco, DM a 1% y 0,5%, y SSL a 0,3% y 0,5%).

Para evaluar los efectos de las concentraciones de un mismo aditivo, se realizó un diseño de experimentos de un solo factor que es el emulsionante con dos niveles de concentración sobre la variable de respuesta  $G'$  y  $G''$  por separado, en donde se evidenció si las concentraciones de los aditivos tienen un efecto sobre las propiedades viscoelástica de la masa.

Para evaluar diferencia significativa entre la muestra con los aditivos estudiados y la muestra blanco se ejecutó un diseño de experimentos de un solo factor, el cual es emulsionante, y en este caso los niveles son ausencia o presencia del mismo en la formulación, sobre la variable de respuesta  $G'$  y  $G''$ , por separado. En este diseño se demostró si la presencia de emulsionante influye en las propiedades reológicas estudiadas.

Por último, se realizó un diseño de experimentos por comparación de varias muestras, para encontrar o no diferencia significativa entre

los dos emulsionantes estudiados con cada uno de sus niveles de concentración. El factor fue emulsionante, con dos niveles: DM y SSL.

### **3.5. Análisis Reológicos**

Se realizó un análisis reológico de las muestras utilizando el reómetro KINEXUS PRO de Malvern en el laboratorio de ensayos metrológicos y de materiales de la ESPOL.

Las características que se van a evaluar son la componente elástica o módulo de almacenamiento  $G'$ , la componente viscosa o módulo de pérdida  $G''$ , así como también la relación existente entre los dos componentes conocida como  $\tan \delta$ .

Antes de la medición de los módulos de pérdida y almacenamiento se hicieron pruebas para determinar la LVER (región viscoelástica lineal) de las muestras, que es el área en donde los materiales exponen el menor grado de deformación.

Para la prueba de LVER se utilizó la geometría de cono con separación de 0,1650 mm y se ejecutó a una frecuencia constante de

1 Hz y un rango de deformación de 0,1 a 100% a temperatura constante de 25 ° C.

Después de determinar la LVER, se midieron los módulos de pérdida y almacenamiento mediante la prueba “Frequency Sweep” que mide la resistencia exhibida por el material a un movimiento oscilatorio, por medio del cual se obtuvieron los resultados de los módulos así como la relación entre ellos, la Tan  $\delta$ .

Los parámetros utilizados para esta prueba fueron tomados del estudio realizado por Korus y Col (2008), en donde se especifica un rango de frecuencia angular de 0,1 a 100 rad/s a una temperatura constante de 25°C. Se aplicó el porcentaje de deformación de 0,1% obtenido en la prueba anterior.

### **3.6. Análisis Estadístico**

Se procedió a estimar la media para cada observación con el objetivo de tener un solo grupo de datos para cada concentración de aditivo y de ésta manera hacer a las unidades de investigación más representativas.

Para los promedios de cada observación se realizaron pruebas de normalidad con la finalidad de identificar que análisis de varianza es factible a utilizar en el estudio correcto de los datos. Para los datos que siguen una distribución de la forma normal, se recurrió a la herramienta estadística ANOVA, y para los datos que no presentaron distribución normal se utilizó la herramienta no paramétrica Kruskal-Wallis.

# CAPITULO 4

## 4. Resultados y Análisis

### 4.1. Efecto de la concentración del Monoglicérido Destilado en la masa de pan de arroz.

#### Resultados de comparación para $G'$ por concentración.

Debido a que las dos muestras de concentración alta y baja del componente  $G'$  tienen distribución no normal, se procedió a realizar la prueba de análisis de varianza Kruskal-wallis con factor emulsionante a dos niveles de concentración (alta y baja), con el cual se emplea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** Las medianas de  $G'$  de las dos concentraciones de DM son iguales.

Vs

$H_1: \neg H_0$

Con esta prueba se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 1 que indica un valor  $p=0,0761456$ , el cual es mayor que 0,05, concluyendo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 1 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con DM por Concentración**

Concentración	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Estadístico	Valor P
Alta	21	18,1429	3,14523	0,0761456
Baja	21	24,8571		

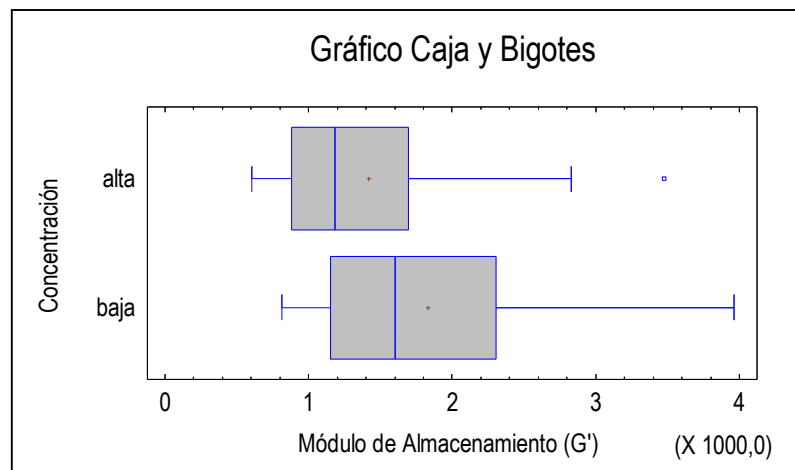
ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

En los gráficos 4.1 y 4.2 se muestra como están agrupadas las unidades de evaluación de la data, además se puede apreciar la ubicación de la mediana de una concentración con respecto a otra, lo que puede llegar a dar indicios de sus diferencias. Por último, se puede llegar a la conclusión de que el conjunto de datos con baja concentración de DM posee una mayor variabilidad debido a la extensión de su gráfico, cabe recalcar la presencia de un dato atípico

en el conjunto de datos con alta concentración de DM, el cuál es representado por pequeño cuadrado ubicado a 3400 (Pa) aproximadamente.

**GRÁFICO 4.1 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE ACUERDO A CONCENTRACIÓN DE DM**

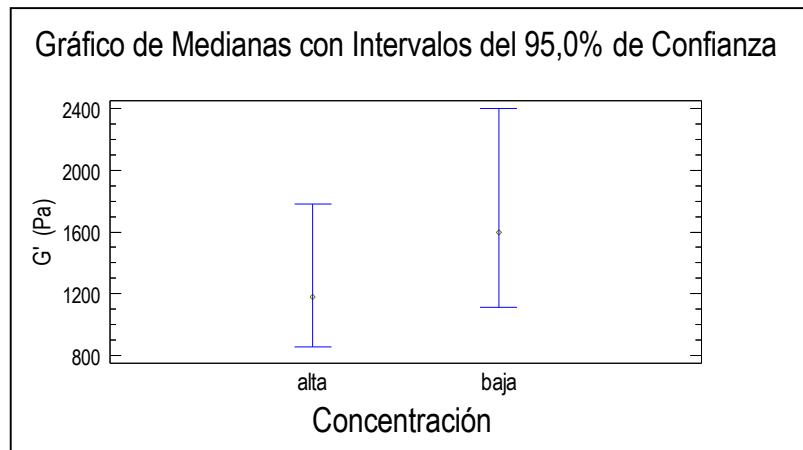
ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013





**GRÁFICO 4.2 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE ACUERDO A CONCENTRACIÓN DE DM**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Como acotación final se puede decir que las concentraciones de DM en la masa de pan libre de gluten no presentaron diferencias significativas entre sí, pero al observar los gráficos obtenidos en la prueba los datos se distingue que la concentración alta tiene valores menores en comparación con la concentración baja, lo que hace imaginar que a mayor concentración de DM la componente elástica de la muestra puede tender a disminuir, esto debido a la formación de complejos débiles entre el DM y la amilopectina, una de las componentes principales del almidón.

### Resultados de comparación para G'' por concentración.

Se probó estadísticamente que las muestras poseen una distribución normal por lo que se procedió a realizar un análisis ANOVA, en donde se plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** Las medias de G'' de las dos concentraciones de DM son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

La tabla 2, muestra un valor  $p=0,0541$ , lo que indica que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , con un nivel del 95,0% de confianza. Se puede concluir que las muestras no presentan diferencia significativa.

**Tabla 2 ANOVA para G'' DM por Concentración**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	440281,	1	440281,	3,94	0,0541
Intra grupos	4,47391E6	40	111848,		
Total (Corr.)	4,91419E6	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

En la tabla 3, se evidencia la prueba de múltiples rangos donde se demuestra que los dos grupos comparten una misma columna, corroborando la conclusión de la tabla ANOVA.

**Tabla 3 Pruebas de Múltiple Rangos para G<sup>2</sup> DM por Concentración**

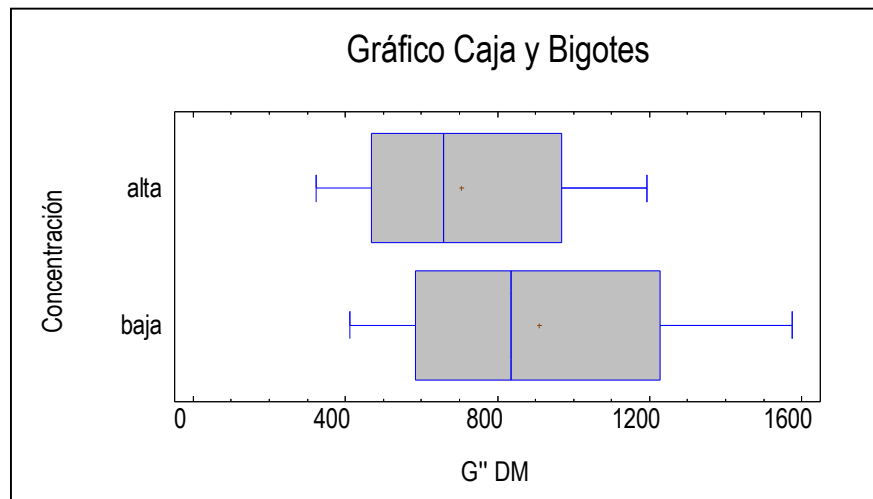
<b>Concentración</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Alta	21	705,353	X
Baja	21	910,125	X

**ELABORADO POR:** Guevara & Murgueitio, 2013

A continuación se muestra el diagrama de cajas en el gráfico 4.3 y el diagrama de medias en el gráfico 4.4, donde se aprecia que no existe diferencia significativa entre los dos niveles de concentración de las muestras con monoglicérido destilado, ya que sus medias están casi al mismo nivel.

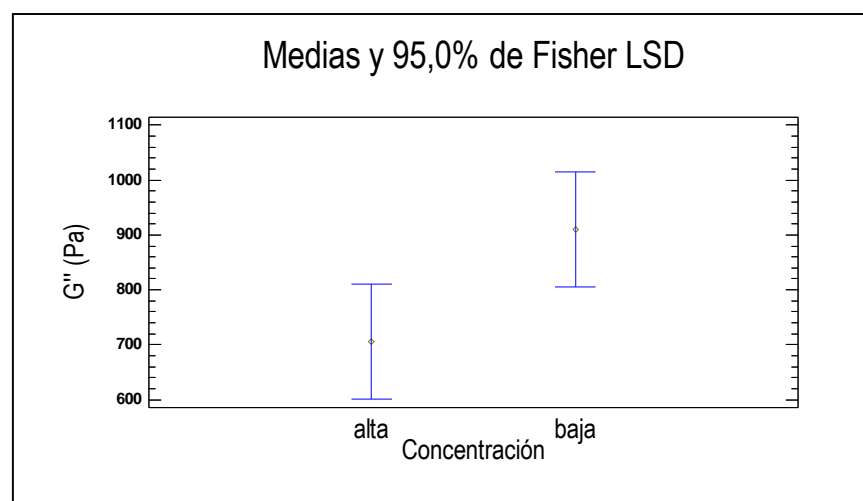
**GRÁFICO 4.3 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE ACUERDO A CONCENTRACIÓN DE DM**

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013



**GRÁFICO 4.4 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE ACUERDO A CONCENTRACIÓN DE DM**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Las componentes viscosas de las muestras con concentraciones alta y baja de DM no presentaron diferencias entre sí, pero los gráficos de cajas y medianas expresan que la muestra con concentración alta posee valores inferiores de la componente viscosa en comparación con la muestra de concentración baja de DM. Esto puede indicar que a mayor concentración del aditivo el  $G''$  tiende a disminuir.

**Resultados de comparación para  $G'$  de concentración baja frente a muestra blanco.**

Se procedió a realizar la prueba Kruskal-Wallis debido a que las muestras no tienen distribución normal, este análisis de varianza plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La mediana de  $G'$  con concentración baja y la mediana de  $G'$  de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

En la tabla 4, se encuentra un valor  $p=0,0482958$ , lo cual indica que hay evidencia estadística suficiente para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , con un nivel del 95,0% de confianza. Esto quiere decir que

estadísticamente, la muestra con concentración baja presenta diferencia significativa frente a la muestra blanco.

**Tabla 4 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 0,3% DM frente a la muestra blanco**

<b>Aditivo</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor P</b>
CMC	21	17,7619	3,89954	0,0482958
DM Baja	21	25,2381		

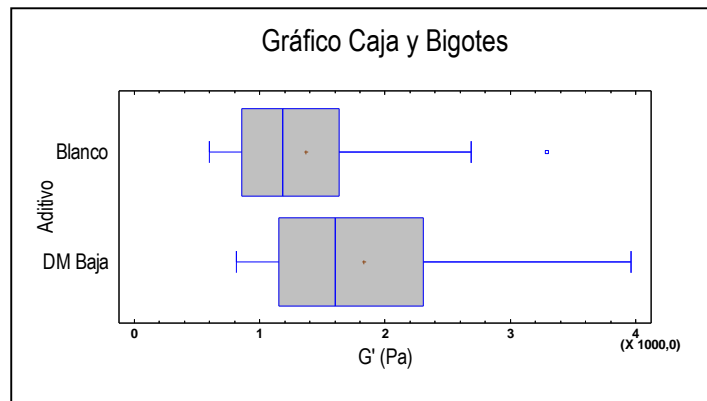
ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Otra manera de apreciar la data es con el diagrama de cajas el cual se ilustra en el gráfico 4.5. Se puede apreciar la ubicación de las medianas representadas por el cuartil 2, las cuales están considerablemente distanciadas una de otra, esto podría dar un indicio de diferencia entre las muestras.

Se pudo apreciar en el gráfico 4.6 que la muestra con concentración baja de DM maximiza ligeramente el componente elástico.

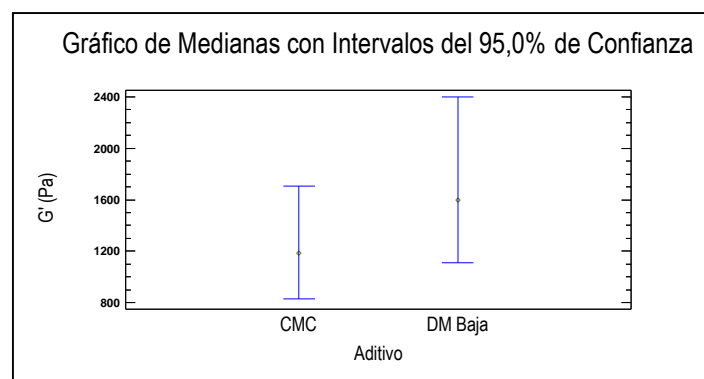
**GRÁFICO 4.5 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE 0,3% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.6 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE 0,3% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Según el valor p obtenido en la prueba, la muestra con concentración baja de DM muestra diferencia significativa en el componente G' frente a la muestra blanco. La acción producida por el aditivo

estudiado a esta concentración, al parecer, tiende a aumentar la elasticidad de la masa de pan sin gluten, esto debido a los complejos formados entre el almidón y el monoglicérido destilado.

**Resultados de comparación para  $G''$  de concentración baja frente a muestra blanco.**

Verificado el supuesto de normalidad para la muestra, se efectuó el análisis de varianza ANOVA el cual plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**$H_0$ :** La media de  $G''$  de concentración baja de DM y la media de  $G''$  de la muestra blanco son iguales.

vs

**$H_1$ :**  $\neg H_0$

La tabla 5 muestra un valor  $p=0,1630$ , lo que indica que con un nivel de confianza de 95%, no hay evidencia estadística suficiente para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , lo cual revela que la concentración baja de DM no ejerce efecto significativo sobre el componente viscoso de la muestra.



**Tabla 5 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% DM frente a la muestra blanco**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	281764,	1	281764,	2,02	0,1630
Intra grupos	5,57961E6	40	139490,		
Total (Corr.)	5,86138E6	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Para verificar que las muestras provienen de grupos homogéneos se realizó una prueba de múltiples rangos, expresando los resultados en la tabla 6. Se puede observar que tienen una misma alineación la columna de X's, esto quiere decir que no existe diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras.

**TABLA 6 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') 0,3% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

<i>Aditivo 2</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Blanco	21	746,312	X
DM BAJA	21	910,125	X

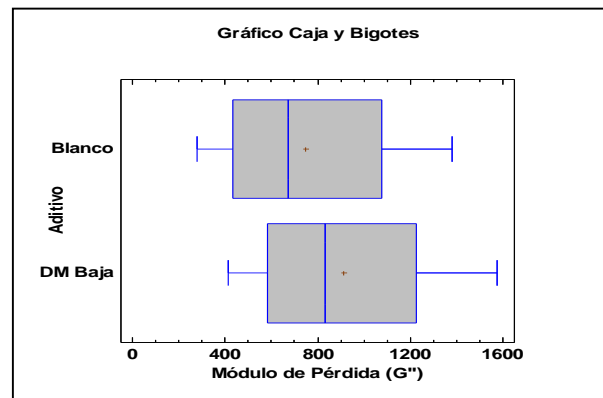
ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

En los gráfico 4.7 y 4.8 se puede observar la poca separación entra las medias de la muestra con concentración baja de DM y la muestra con ausencia de aditivo. El módulo de perdida G'' medido en la

muestra blanco y con concentración baja de DM no presentaron diferencias significativas entre sí. Se supone que los complejos formados entre el DM y el almidón no ejercen efecto sobre la componente viscosa  $G''$ .

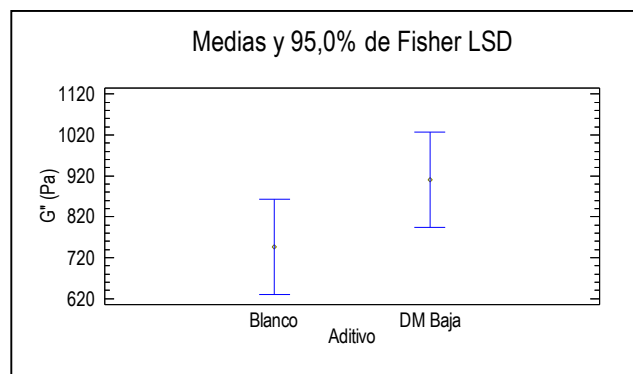
#### GRÁFICO 4.7 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DM BAJA FRENTE A LA MUESTRA BLANCO

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013



#### GRÁFICO 4.8 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE 0,3% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



### Resultados de comparación para G' de concentración alta frente a muestra blanco.

La data evaluada no presenta una distribución normal, debido a esto, se efectuó un análisis de Kruskal-Wallis el cual plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La mediana de G'' de concentración alta de DM y la mediana de G'' de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

El valor p que se encuentra en la tabla 7 es mayor a 0,05, por lo que se puede concluir que no existe diferencia significativa entre la muestra con concentración alta de DM y la muestra blanco.

**Tabla 7 Kruskal-Wallis para Módulo de Almacenamiento (G') de muestra con 1% DM frente a la muestra blanco**

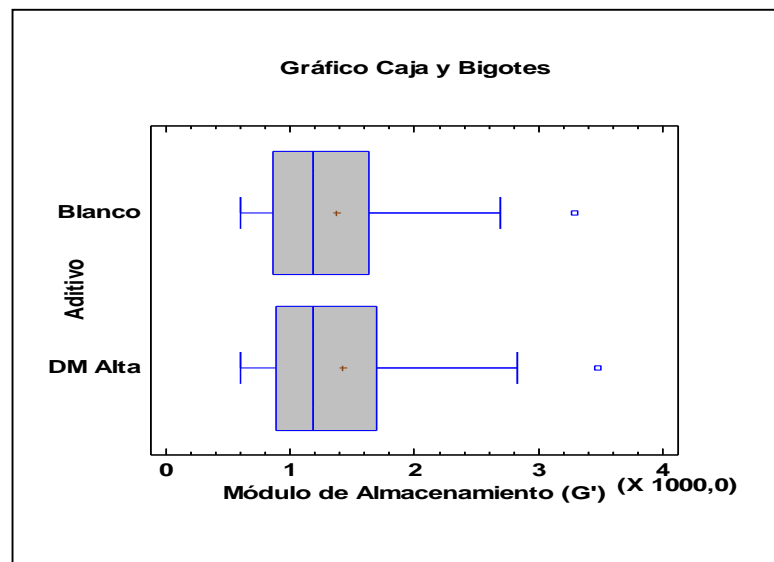
Aditivo	Tamaño Muestra	Rango Promedio	Estadístico	Valor P
Blanco	21	21,1429	0,0355956	0,850353
DM Alta	21	21,8571		

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Se pudo observar también en el gráfico 4.9 y 4.10 que las medianas de las dos muestras están casi al mismo nivel, así como también, el primer y tercer cuartil, lo que indica que las dos muestras tomadas son bastante similares.

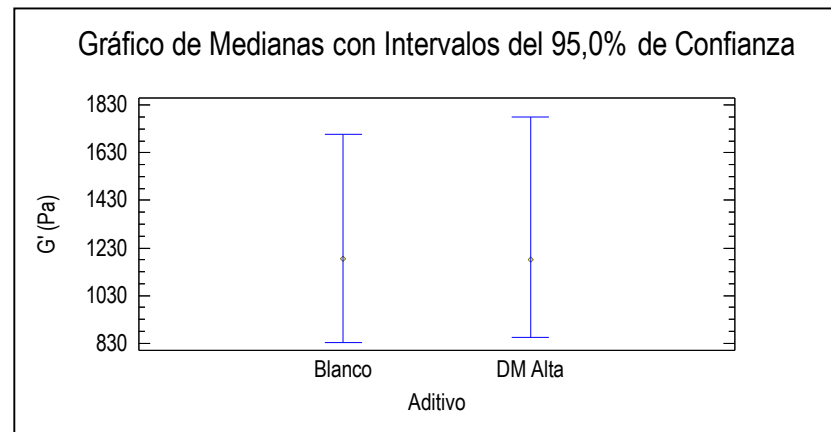
**GRÁFICO 4.9 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE 1% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.10 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE 1% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Esto demuestra que la concentración alta de DM no contribuye en mejorar la viscosidad de la masa con harina de arroz, y puede ser debido a que las interacciones de este aditivo con la amilopectina son muy débiles. Se cree que esto puede estar ocurriendo dado que la harina utilizada, se sospecha, tiene alto contenido de amilopectina.

**Resultados de comparación para G'' de concentración alta frente a muestra blanco.**

La data evaluada presenta una distribución normal, debido a esto, se efectuó un análisis de ANOVA el cual plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La media de G'' de concentración alta de DM y la media de G'' de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

El valor p que se encuentra en la tabla 8 es mayor a 0,05, por lo que se puede concluir que no existe diferencia significativa entre la muestra con concentración alta de DM y la muestra blanco.

**Tabla 8 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 1% DM frente a la muestra blanco**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	17615,3	1	17615,3	0,17	0,6840
Intra grupos	4,19151E6	40	104788,		
Total (Corr.)	4,20912E6	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

En la prueba de rangos múltiples, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's, corroborando el resultado de ANOVA. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 9.

**TABLA 9 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRA CON 1% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

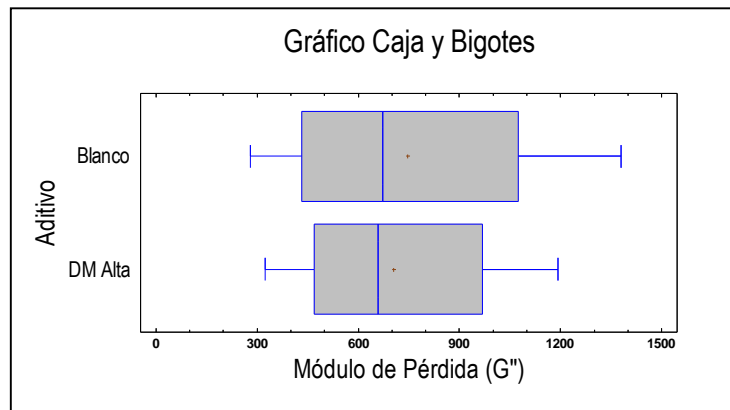
<b><i>Aditivo 2</i></b>	<b><i>Casos</i></b>	<b><i>Media</i></b>	<b><i>Grupos Homogéneos</i></b>
DM Alta	21	705,353	X
Blanco	21	746,312	X

**ELABORADO POR:** Guevara & Murgueitio, 2013

A pesar de que estadísticamente no existe diferencia significativa entre las dos muestras evaluadas, en los gráficos 4.11 y 4.12 se pudo observar que la muestra sin aditivo presenta valores ligeramente más elevados de viscosidad que la muestra con 1% de DM.

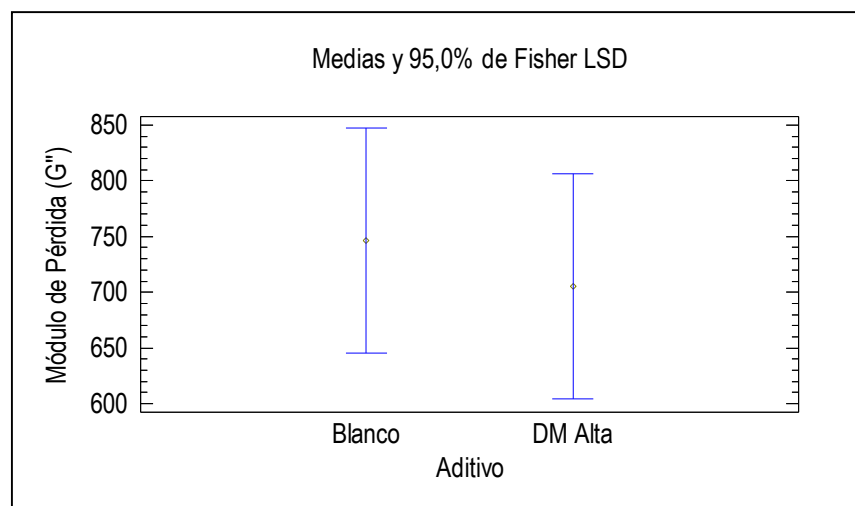
**GRÁFICO 4.11 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE 1% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.12 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE 1% DM FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013





#### **4.2. Efecto de la concentración del Estearoil 2 Lactilato de Sodio en la masa de pan de arroz.**

##### **Resultados de comparación para G' por concentración.**

Se realizó la prueba de análisis de varianza ANOVA simple con factor emulsionante (en este caso SSL) a dos niveles de concentración (alta y baja). Se realizó el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La media de G' de concentración alta de SSL y la media de G' de baja de SSL son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

Con el cual se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 10 que indica un valor  $p=0,5707$ , concluyendo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del módulo de almacenamiento de la muestra con Estearoil 2 Lactilato de Sodio, entre un nivel de concentración y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 10 ANOVA para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con SSL por Concentración**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	545527,	1	545527,	0,33	0,5707
Intra grupos	6,67526E7	40	1,66881E6		
Total (Corr.)	6,72981E7	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

La prueba de rangos múltiples nos indica una homogeneidad en las muestras, revelando que no hay diferencias significativas entre las muestras. Esta prueba se realizó como comprobación del resultado de la tabla ANOVA y se presentan los resultados en la tabla 11.

**Tabla 11 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Almacenamiento (G') de muestras con SSL por Concentración**

<b>Concentración</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Baja	21	2704,94	X
Alta	21	2932,87	X

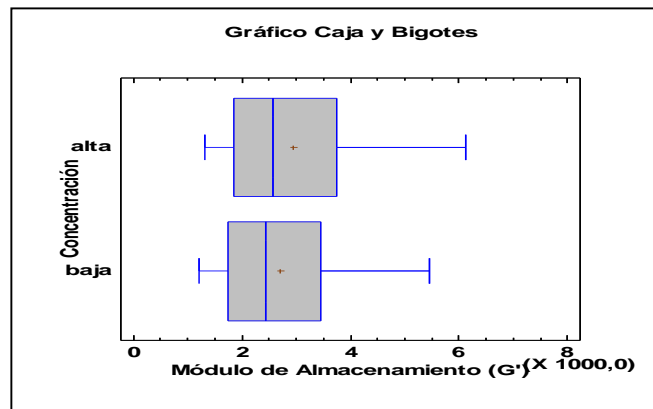
ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

En el diagrama de cajas ilustrado en el gráfico 4.13, se puede apreciar que las medias están casi a un mismo nivel. A pesar que las muestras no tienen diferencia significativa, se puede observar en el gráfico 4.14, que la muestra con concentración alta de SSL presenta

valores ligeramente mayores en cuanto a su componente elástico ( $G'$ ).

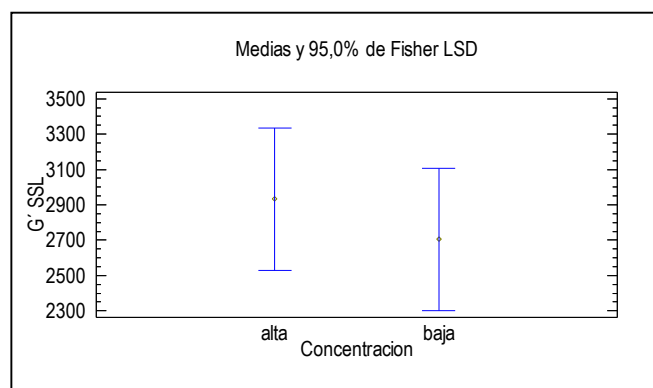
### GRÁFICO 4.13 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO ( $G'$ ) DE MUESTRAS CON SSL POR CONCENTRACIÓN

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



### GRÁFICO 4.14 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO ( $G'$ ) DE MUESTRAS CON SSL POR CONCENTRACIÓN

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



A pesar de que el valor p de la prueba indica que no hay diferencia significativa entre las concentraciones alta y baja de SSL, en los gráficos claramente se puede observar que los valores de la muestra con concentración alta de SSL son ligeramente mayores. Se presume que esto se debe al efecto del aditivo en estabilizar gránulos que se forman durante la primera etapa de la gelatinización del almidón.

### **Resultados de comparación para G'' por concentración.**

Para comparar las muestras de acuerdo a su concentración se realizó el test de normalidad a las mismas para luego recurrir a la prueba ANOVA en la cual se empleó el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La media de G'' de concentración alta de SSL y la media de G'' de la concentración baja de SSL son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

Se obtuvo un valor p de 0,3409, el cual es mayor a 0,05, implicando que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar H<sub>0</sub>. Este resultado se encuentra en la tabla 12, y se pudo concluir que no

existe diferencia significativa entre concentraciones de SSL, en cuanto a su componente viscoso ( $G''$ ).

En cuanto a la prueba de múltiples rangos, se corroboró que existe diferencias estadísticamente significativas entre una concentración baja y alta, debido a que se comparten los niveles en un misma columna, como se observa en la tabla 13.

**Tabla 12 ANOVA para Módulo de Pérdida ( $G''$ ) de muestras con SSL por Concentración**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	285432,	1	285432,	0,93	0,3409
Intra grupos	1,2291E7	40	307275,		
Total (Corr.)	1,25764E7	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

**TABLA 13 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE MUESTRAS CON SSL POR CONCENTRACIÓN**

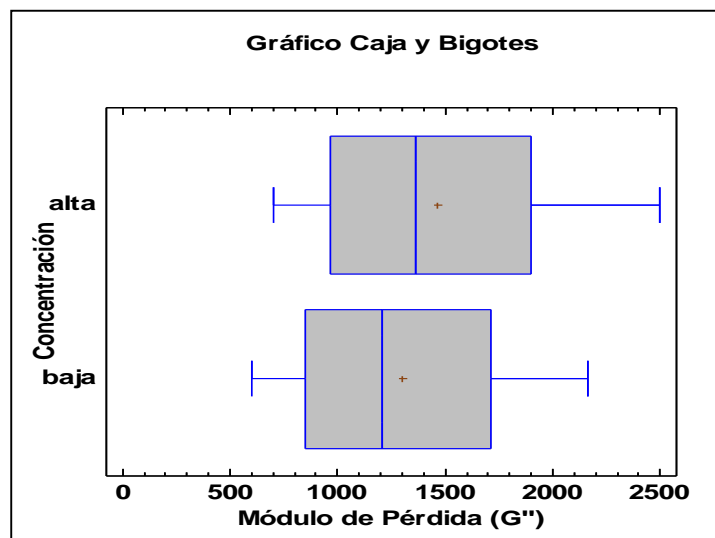
Concentración	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Baja	21	1300,08	X
Alta	21	1464,96	X

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

A pesar que las muestras no tienen diferencia estadísticamente significativa, en el gráfico 4.15 y 4.16 se aprecia de manera visual que la muestra con concentración alta posee valores ligeramente mayores en cuanto al componente viscoso. Esto puede dar un indicio de que el SSL al 0,5% de concentración puede llegar a mejorar las características viscoelásticas de la masa.

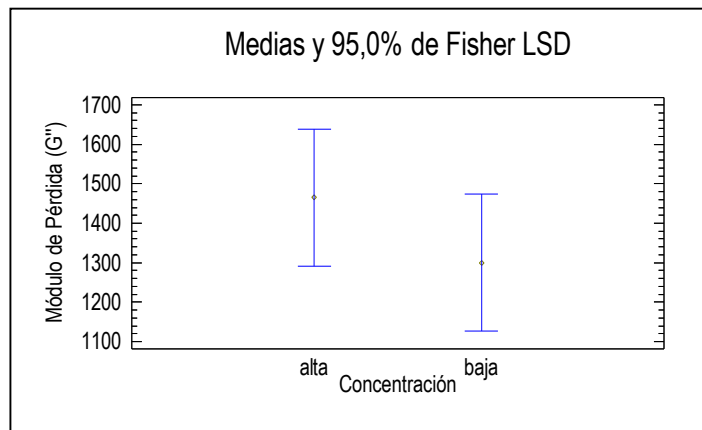
**GRÁFICO 4.15 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE MUESTRAS CON SSL POR CONCENTRACIÓN**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.16 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE  
PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON SSL POR  
CONCENTRACIÓN**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**Resultados de comparación para G' de muestra con concentración baja de SSL frente a la muestra blanco.**

Debido a que las muestras a analizar no presentan una distribución normal, se procedió a realizar un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis en el cual se planteo el siguiente contraste de hipótesis

**H<sub>0</sub>:** La mediana de G'' de concentración baja de SSL y la mediana de G'' de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

Con esto, se obtienen los resultados de la tabla 14, en donde revela un valor p de aproximadamente 0. Puesto que el valor P es menor

que 0,05, indica que hay evidencia estadística suficiente para no rechazar  $H_0$  y existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza, concluyendo que la muestra con concentración baja de G' y la muestra blanco son diferentes.

**TABLA 14 KRUSKAL-WALLIS PARA MÓDULO DE  
ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRA CON 0,3% SSL  
FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

<b>Aditivo G'</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor-P</b>
Blanco	21	14,0	15,6977	0,0000743
SSL Bajo	21	29,0		

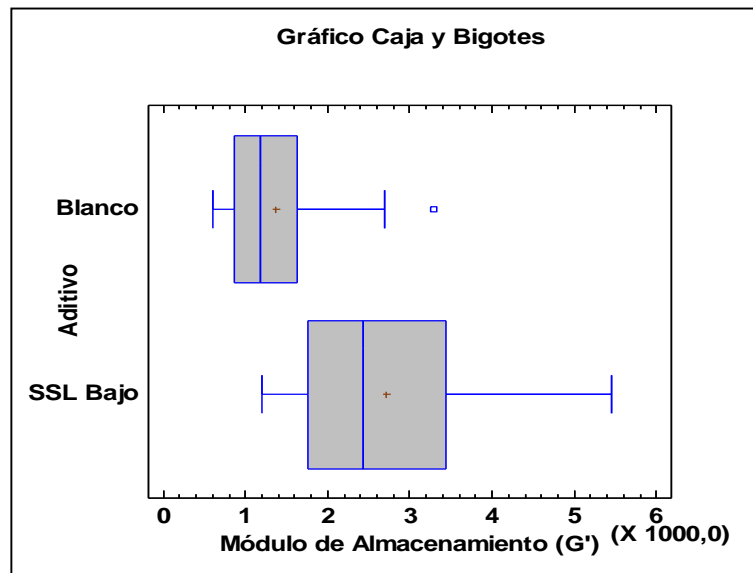
ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Para observar la magnitud de diferencia significativa entre las dos muestras evaluadas, se realizó un diagrama de cajas y un diagrama de medias, ilustrados en los gráficos 4.17 y 4.18 respectivamente. Se pudo evidenciar que la muestra con concentración baja de SSL aumenta considerablemente el módulo de almacenamiento en comparación con la muestra blanco. En otras palabras, el nivel bajo de concentración si ejerce un efecto notable en cuanto al componente elástico de la masa sin gluten.



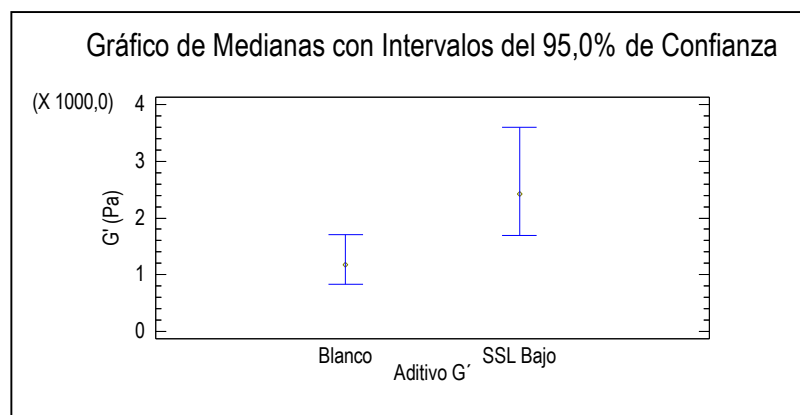
**GRÁFICO 4.17 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO ( $G'$ ) DE MUESTRAS CON 0,3% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.18 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO ( $G'$ ) DE MUESTRAS CON 0,3% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



El efecto característico del SSL al otorgar elasticidad a las masas, debido a la formación de complejos más fuertes, se cree es el causante del presente comportamiento.

**Resultados de comparación para G'' de muestra con concentración baja de SSL frente a la muestra blanco.**

Se probó que las muestras presentan una distribución normal, por lo que se procedió a realizar un análisis de varianza ANOVA en el cual se planteo el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La media de G'' de concentración baja de SSL y la media de G'' de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

Con esto, se obtienen los resultados de la tabla 15, en donde revela un valor p de aproximadamente 0. Puesto que el valor P es menor que 0,05, indica que hay evidencia estadística suficiente para rechazar H<sub>0</sub> y existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias con un nivel del 95,0% de confianza, concluyendo que la muestra con concentración baja posee valores significativamente diferentes de G'' que la muestra blanco.

**Tabla 15 ANOVA para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% SSL frente a la muestra blanco**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón -F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	3,21993E6	1	3,21993E6	15,73	0,0003
Intra grupos	8,18906E6	40	204727,		
Total (Corr.)	1,1409E7	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

**Tabla 16 Pruebas de Múltiple Rangos para Módulo de Pérdida (G'') de muestra con 0,3% SSL frente a la muestra blanco**

<b>Aditivo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Blanco	21	746,312	X
SSL Baja	21	1300,08	X

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

La tabla 16 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Existe diferencias estadísticamente significativas entre los niveles que no compartan una misma columna de X's. De

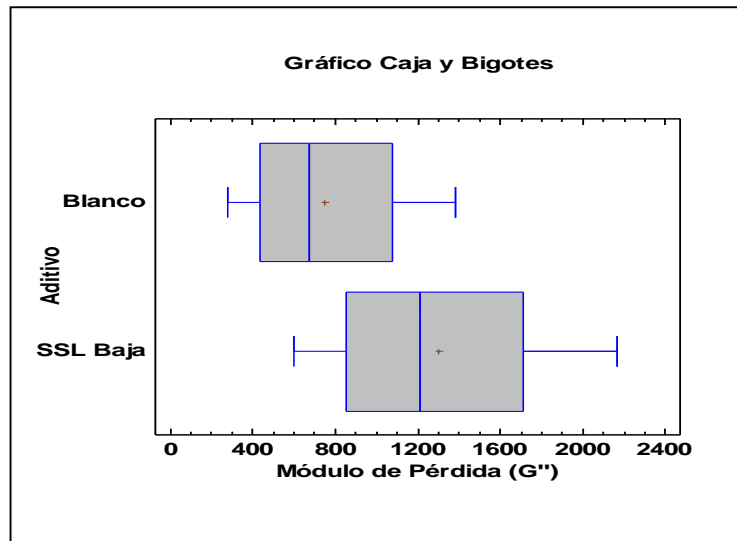
esta manera se asegura el resultado de la prueba ANOVA que se realizó previamente.

Para observar la extensión de diferencia significativa entre las dos muestras evaluadas, se realizó un diagrama de cajas y un diagrama de medias, expuestos en los gráficos 4.19 y 4.20. Se pudo comprobar que la muestra con concentración baja de SSL aumenta notablemente el componente viscoso ( $G''$ ) en comparación con la muestra blanco. Esto quiere decir que la aplicación del SSL a 0,3% en la masa con harina de arroz, ejerce un efecto considerable sobre las propiedades viscosas de la masa.

La diferencia entre la muestra blanco y la muestra con concentración baja de SSL, se cree se manifiesta debido a que el SSL reduce la hinchazón de los gránulos que se forman durante la primera etapa de la gelatinización del almidón, lo que conlleva a la formación de complejos más fuertes.

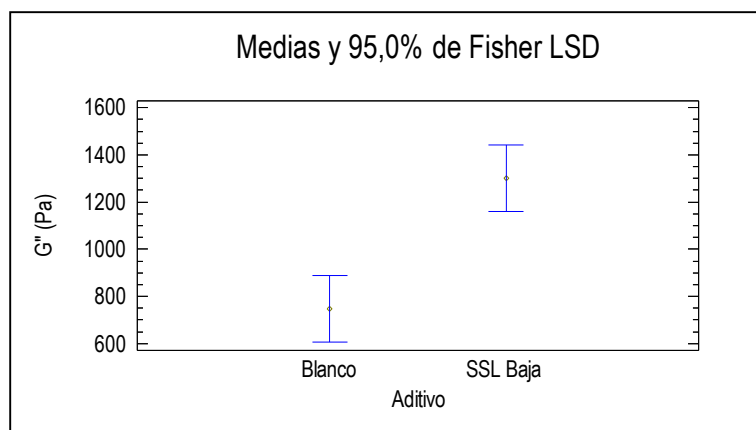
**GRÁFICO 4.19 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE MUESTRAS CON 0,3% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.20 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA ( $G''$ ) DE MUESTRAS CON 0,3% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



### **Resultados de comparación para G' de muestra con concentración alta de SSL frente a la muestra blanco.**

La data no posee una tendencia hacia la distribución normal, por lo tanto, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, la que plantea el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La mediana de G' de concentración alta de SSL y la mediana de G' de la muestra blanco son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

Puesto que el valor p expresado en la tabla 17 es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Esto quiere decir que la muestra de masa concentración alta de SSL posee diferencia significativa en el componente elástico frente a la muestra blanco.

Para exhibir la magnitud de diferencia significativa, se procedió a realizar un diagrama de cajas y diagrama de medias manifestados en los gráficos 4.21 y 4.22. Se distinguió notablemente que la muestra con concentración alta de SSL aumenta su elasticidad. Se puede constatar una gran diferencia entre los valores de SSL al 0,5%

respecto a los de la muestra blanco, lo que implica que esta concentración es muy conveniente a la masa con harina de arroz sin gluten.

**TABLA 17 KRUSKAL-WALLIS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRA CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

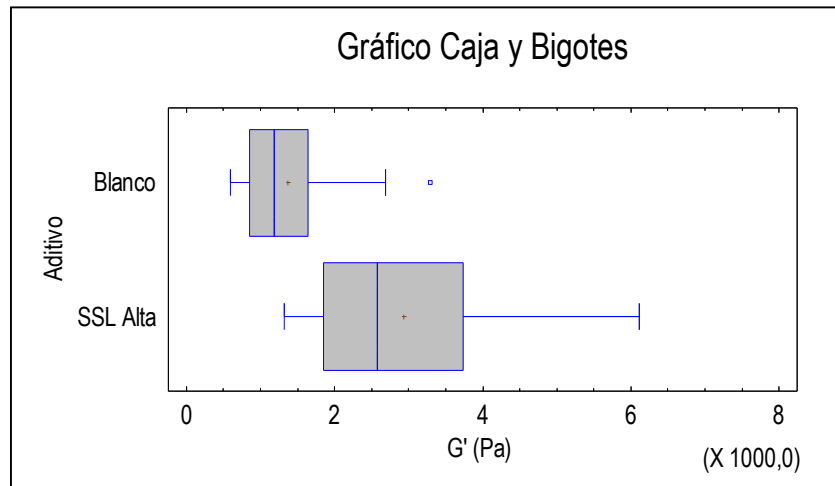
<b>Aditivo G'</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor p</b>
Blanco	21	13,619	17,3329	0,000031
SSL Alta	21	29,381		

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Se observó en el gráfico 4.21 y 4.22 que la muestra con concentración alta maximiza considerablemente los valores del componente elástico, por lo que se concluye que esta concentración es la más favorable para la masa de pan elaborada con harina de arroz, ya que esta necesita una elasticidad elevada para poder retener los gases que ocurren durante la fermentación de la levadura y así mismo, previene la ruptura de la corteza en el horneado, lo que es típico en este tipo de panes que se elaboran con harina de arroz.

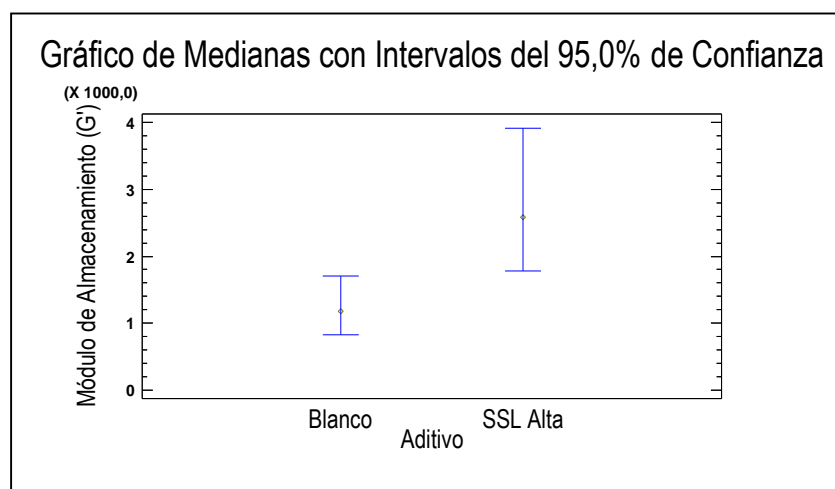
**GRÁFICO 4.21 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRAS CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.22 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRAS CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013





La concentración alta de SSL muestra valores de  $G'$  maximizados en comparación con los valores de  $G'$  de la muestra blanco. El SSL tiene la facultad de reducir la hinchazón de los gránulos formados durante la primera etapa de la gelatinización del almidón inhibiendo así su rompimiento, lo que se manifiesta con una elevación de los valores de  $G'$  de la masa.

**Resultados de comparación para  $G''$  de muestra con concentración alta de SSL frente a la muestra blanco.**

Para verificar si hay diferencia significativa entre la muestra con 0,5% de SSL y la muestra blanco en cuanto a su componente viscoso se realizó una prueba de análisis de varianza ANOVA, después de confirmar que las muestras provienen de una distribución normal. Para construir la tabla 18 se planteó primero el siguiente contraste de hipótesis:

**$H_0$ :** La media de  $G''$  de concentración alta de SSL y la media de  $G''$  de la muestra blanco son iguales.

Vs

**$H_1$ :**  $\neg H_0$

Con un valor  $p$  de 0, hay suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , lo que quiere decir que existe diferencia significativa entre las dos muestras analizadas.

**Tabla 18 ANOVA para Módulo de Pérdida ( $G''$ ) de muestra con 0,5% SSL frente a la muestra blanco**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5,42272E6	1	5,42272E6	23,08	0,0000
Intra grupos	9,39917E6	40	234979,		
Total (Corr.)	1,48219E7	41			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Para asegurar el resultado de ANOVA, se realizó una prueba de múltiples rangos en donde no se encontró a un mismo nivel el par de  $X$ 's concluyendo que las muestras son estadísticamente diferentes.

Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 19.

**TABLA 19 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRA CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

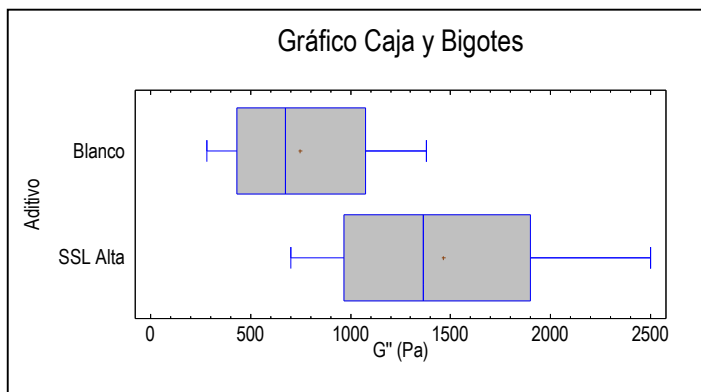
<b>Aditivo G''</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Blanco	21	746,312	X
SSL Alta	21	1464,96	X

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

Se puede observar en el gráfico 4.23 que los datos de la muestra con 0,5% de SSL están más hacia la derecha, lo que quiere decir que poseen valores notablemente mayores de componente viscoso. En el gráfico 4.24 se muestran las medias muy separadas y se comprobó que este nivel de aditivo ejerce un efecto significativo en cuanto al aumento del módulo de pérdida (G'').

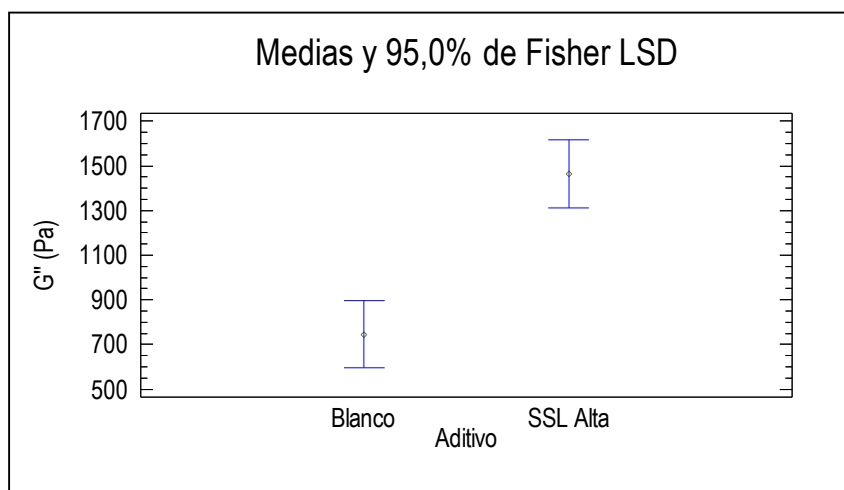
**GRÁFICO 4.23 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.24 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON 0,5% SSL FRENTE A LA MUESTRA BLANCO**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Al igual que la comparación anterior, la muestra con concentración alta de SSL posee valores de  $G''$  mayores con respecto a los valores de  $G''$  de la muestra blanco, lo cual se cree es resultado del efecto estabilizador de los complejos formados entre el aditivo y el almidón durante la etapa inicial de su gelatinización.

#### **4.3. Efecto del tipo de aditivo en la masa de pan de arroz**

##### **Efecto sobre el Módulo de Almacenamiento ( $G'$ )**

Para demostrar si hay efecto significativo en el Módulo de almacenamiento entre las muestras con DM y SSL, se realizó una prueba de análisis de varianza no paramétrica Kruskal- Wallis, ya que las muestras no provienen de distribución normal. Para esto se juntó los datos de los dos niveles de DM y SSL, puesto que anteriormente se encontró que no hay diferencia significativa entre los niveles de cada aditivo. La prueba de Kruskal-Wallis planteó el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La mediana de  $G'$  de SSL y la mediana de  $G'$  de DM son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$

En la tabla 20 se muestra un valor p de aproximadamente 0, al ser menor a 0,05, hay suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , lo que quiere decir que existe diferencia significativa entre las dos muestras analizadas.

**TABLA 20 KRUSKAL WALLIS PARA EL EFECTO SOBRE EL MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

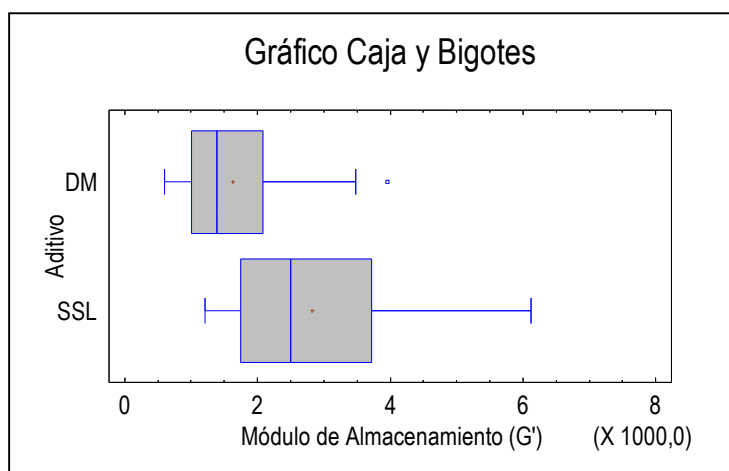
<b>Aditivo</b>	<b>Tamaño Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor P</b>
DM	42	29,7619	22,9072	0,0000017
SSL	42	55,2381		

**ELABORADO POR:** Guevara & Murgueitio, 2013

Con el gráfico 4.25 y 4.26 se descubrió un notable aumento del componente elástico proveniente de la muestra con SSL. La muestra de masa con harina de arroz es sumamente más favorecida con la presencia del SSL que con la del DM, ya que el primero, aumenta de forma considerable y beneficiosa a la elasticidad de la misma.

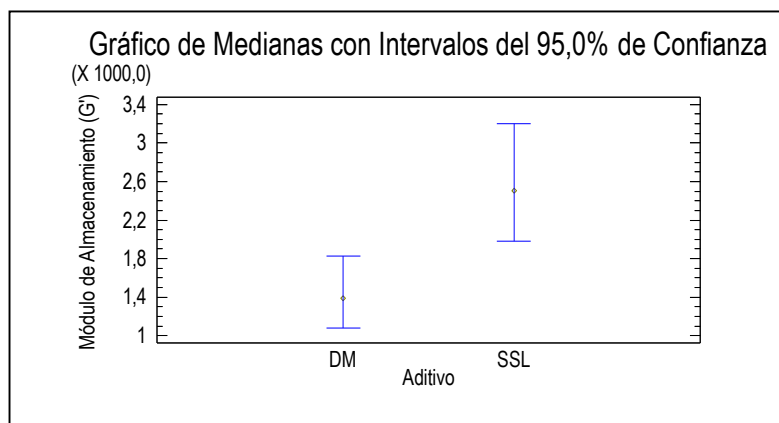
**GRÁFICO 4.25 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.26 DIAGRAMA DE MEDIANAS PARA MÓDULO DE ALMACENAMIENTO (G'') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



La prueba realizada dio como resultado diferencia significativa de la componente elástica en la muestra de masa de pan sin gluten con SSL y DM. Mediante los gráficos de cajas y de medianas se puede constatar que el SSL aumentó considerablemente los valores de  $G'$  con respecto a los valores de la muestra con DM. El SSL ejerce un efecto estabilizador a los gránulos formados durante la etapa inicial de la gelatinización del almidón, lo que conlleva al aumento de las propiedades viscoelásticas de la misma.

### **Efecto sobre el Módulo de Pérdida ( $G''$ )**

Para definir si hay efecto significativo en el Módulo de pérdida entre las muestras con DM y SSL, se efectuó una prueba de análisis de varianza ANOVA, ya que las muestras provienen de distribución normal. Se juntó los datos de los dos niveles de DM y SSL, puesto que como ya se mencionó anteriormente, se encontró que no hay diferencia significativa entre los niveles de cada aditivo. La prueba de ANOVA planteó el siguiente contraste de hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** La media de  $G''$  de SSL y la media de  $G''$  de DM son iguales.

Vs

**H<sub>1</sub>:**  $\neg H_0$



En la tabla 21 se muestra un valor p de aproximadamente 0, al ser menor a 0,05, hay suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$  a favor de  $H_1$ , lo que quiere decir que existe diferencia significativa entre el componente viscoso de la muestra con DM y la muestra SSL.

**TABLA 21 ANOVA PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón -F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	6,9378E6	1	6,9378E6	32,53	0,0000
Intra grupos	1,74906E7	82	213300,		
Total (Corr.)	2,44284E7	83			

ELABORADO POR: Guevara & Murgueitio, 2013

A continuación en la tabla 22 se expone los resultados provenientes a la prueba de múltiples rangos, en el cual se aprecia una diferencia significativa entre las muestras evaluadas, debido a que la columna de X's no se encuentran a un mismo nivel.

**TABLA 22 PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGOS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

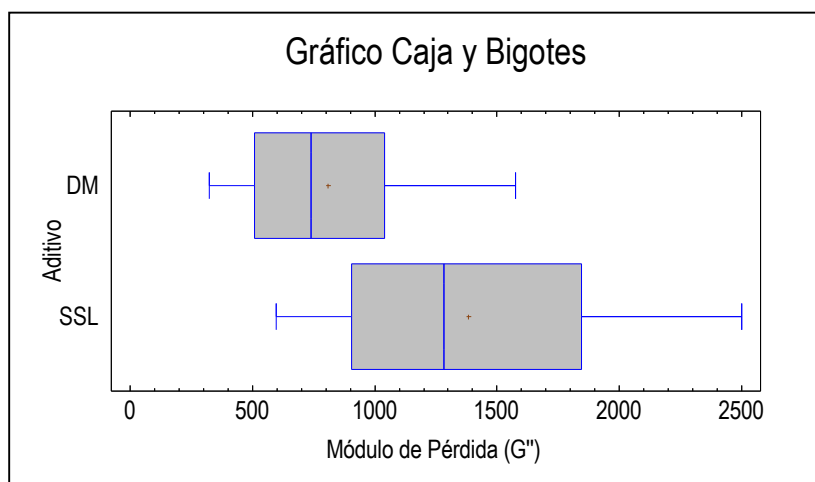
<b>Aditivo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
DM	42	807,739	X
SSL	42	1382,52	X

**ELABORADO POR:** Guevara & Murgueitio, 2013

El diagrama de cajas y el diagrama de medias representados en el gráfico 4.27 y 4.28 respectivamente, revela un considerable aumento en el componente viscoso por parte de la muestra con SSL. Este emulsificante maximiza los valores del módulo de pérdida, lo que puede ser favorable para la masa con harina de arroz ya que al no contener gluten, es más difícil llegar a la viscosidad deseada, pero con la adición del SSL en la fórmula, se podría llegar a dicha viscosidad.

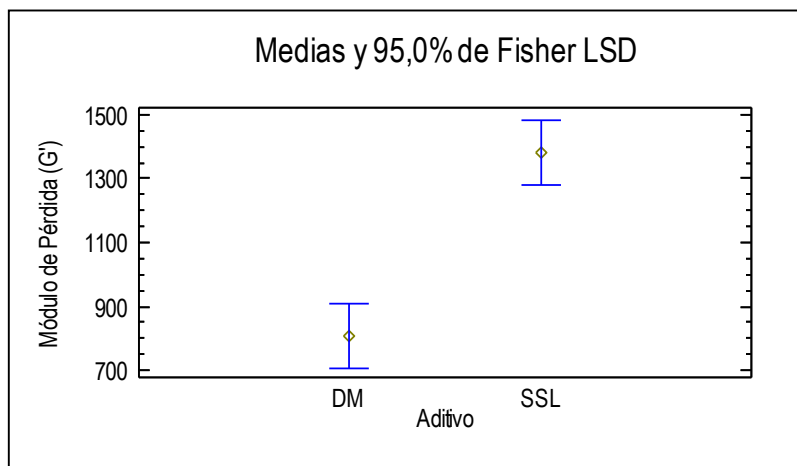
**GRÁFICO 4.27 DIAGRAMA DE CAJAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



**GRÁFICO 4.28 DIAGRAMA DE MEDIAS PARA MÓDULO DE PÉRDIDA (G'') DE MUESTRAS CON DM Y SSL**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



Se realizó también un gráfico de comparación de toda la data, es decir, el componente elástico y viscoso con los emulsionantes DM y SSL, cada uno con su nivel de concentración, y se obtuvo el gráfico 4.29.

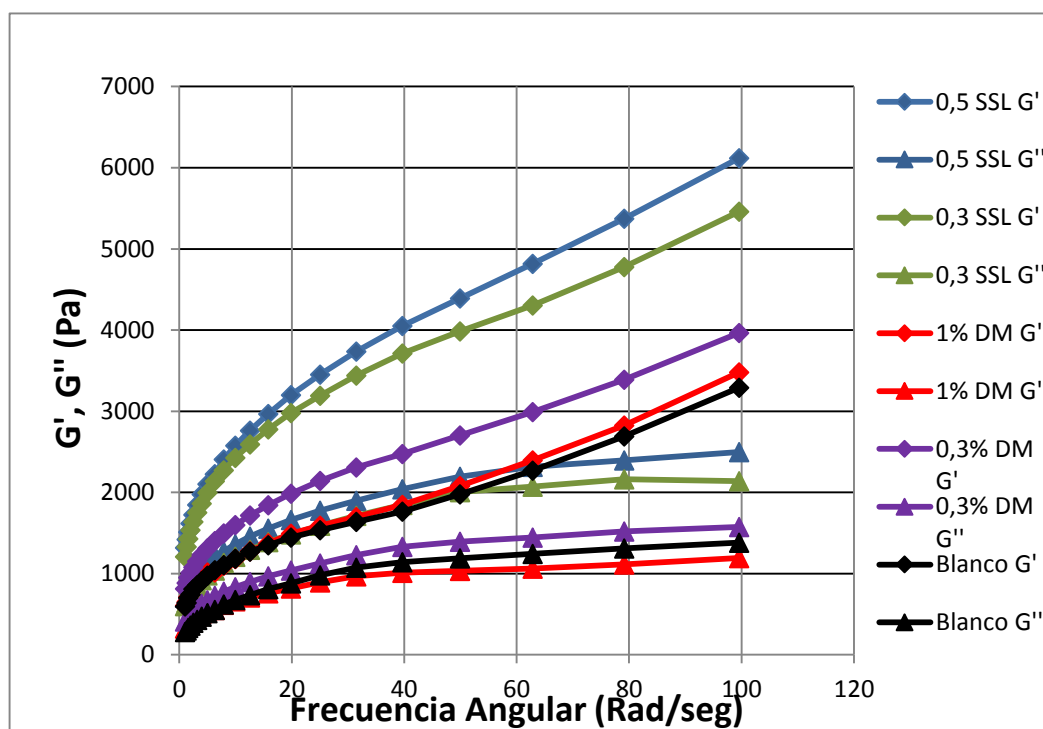
Se observó que la muestra con el emulsionante SSL a un nivel de concentración de 0,5%, fue el que maximizó los valores del módulo de almacenamiento y módulo de pérdida.

Para explicar este resultado, se conoce que el emulsionante SSL estabiliza los gránulos que se forman durante la primera fase de gelatinización del almidón, esto conlleva a una menor deformación de los mismos e incrementa su habilidad para retener el agua sin que ocurra ruptura, lo que puede generar cambios positivos en la masa al incrementar los módulos  $G'$  y  $G''$ . (Hasenhuettl y Hartel, 2008).

Se pudo notar también que la muestra que menos elevó los valores de las dos componentes estudiadas, es la muestra que contiene 1% de DM.

**GRÁFICO 4.29 G' Y G'' VS FRECUENCIA ANGULAR DE SSL Y DM CON SUS NIVELES DE CONCENTRACION**

ELABORADO POR: GUEVARA & MURGUEITIO, 2013



De acuerdo a la bibliografía, se entiende que el arroz común posee una relación de amilosa:amilopectina de 20:80. Dado que el DM forma complejos más débiles con la amilopectina que con la amilosa, se cree que a mayor concentración de DM en la muestra las propiedades viscoelásticas de la misma pueden decrecer. (BeMiller y Whistler, 2009)

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El efecto de las diferentes concentración de DM sobre las propiedades viscoelásticas de la muestra, presentaron una mínima diferencia. Sin embargo, al evaluarlas frente a la muestra blanco se encontró un efecto significativo en la propiedad elástica de la masa con concentración de 0,3% y con la masa de 1% no hubo efecto significativo. Esto puede ser debido a que el DM forma complejos más débiles con la amilopectina que con la amilosa, y se utilizó una harina de arroz comercial la cual se sospecha posee una relación de 20:80 (amilosa:amilopectina). Es por esto que se cree que a mayor concentración de DM en la muestra, las propiedades viscoelásticas de la misma pueden tender a disminuir.

En el caso del emulsificante SSL, no se presentó efecto significativo sobre las propiedades viscoelásticas de la masa a los dos niveles de concentración estudiados. A pesar de esto, al comparar dichos niveles frente a la muestra blanco, fue notoria la diferencia que este emulsionante ocasiona sobre las características reológicas evaluadas. El nivel de concentración de 0,5% fue el que maximizó los valores del módulo de almacenamiento y módulo de pérdida. Esto puede ser causado porque el SSL estabiliza los gránulos que se forman durante la primera fase de la gelatinización del almidón, reduciendo su hinchazón e inhibiendo su ruptura, lo que conlleva a la formación de complejos más fuertes.

El emulsionante SSL con una concentración del 0,5% fue la de mejor efecto sobre las características reológicas de la masa de pan sin gluten, debido a que fue la concentración que más elevó los módulos de almacenamiento y pérdida. El aumento de la elasticidad favorece a la retención del gas en la masa fermentada producido por la levadura, y también reduce el rompimiento de la corteza del pan horneado. Así mismo, el aumento de la viscosidad favorece a la manipulación de la masa.

Se puede concluir que para todas las muestras, la relación de tan de delta es mayor a 0,1 lo cual implica la caracterización de un masa débil. Esto es debido a que siempre se encontró u predominio en el componente elástico sobre el viscoso.

Para futuras investigaciones similares, se recomienda un análisis bromatológico del tipo de harina que será utilizada en la experimentación, para que exista una mayor comprensión en cuanto a las interacciones de sus componentes con los emulsionantes.

Se recomienda que el agua utilizada en el proceso de elaboración de la muestra se encuentre a una temperatura cercana a la de ebullición, ya que es necesaria la gelatinización del almidón para obtener mejor consistencia en la masa. Así mismo, se recomienda no utilizar la levadura en la formulación de las muestras, debido a que las burbujas de aire formadas durante su metabolismo pueden provocar errores en la medición de las características reológicas.

Se recomienda al laboratorio LEMAT adquirir carteles señalando el uso adecuado del reómetro, así como también buenas prácticas dentro del laboratorio, como por ejemplo, el uso de mandil.



Se recomienda un estudio profundizado sobre las interacciones del almidón con los emulsionantes DM y SSL, para entender mejor el comportamiento reflejado en los resultados que proporciona el reómetro. También sería interesante evaluar la interacción entre los dos emulsionantes estudiados ya que la combinación podría dar resultado a una sinergia.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BeMiller, J., and Whistler, R., *Starch: Chemistry and Technology*, Third edition, Elsevier, Lincon, USA, 2009, pp. 569-577.
- [2] Boatella, R., *Química y Bioquímica de los Alimentos II*, Primera Edición, Ediciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona, España, 2004, pp. 92-94.
- [3] Calaveras, Jesús, *Tratado de panificación y bollería*, Primera Edición, AMV Ediciones, Madrid, España, 1996, pp. 174, 267-270.
- [4] Cauvain, S., y Young, L., *Fabricación de Pan*, Primera edición, editorial Acibia, Zaragoza, España, 2002, pp. 1-79, 309-344.
- [5] Chandler, R., *Arroz, en los trópicos*, Primera Edición, Editorial IICA, San José, Costa Rica, 1984, pp. 95.
- [6] Garrido Lizana, Jorge; "*Caracterización Térmica y Mecánica de Nuevos Nanocomposites Reforzados con Nanotubos de Carbono*", tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 2010.
- [7] Gonzales, Simón, "*Diseño Mecánico de un Equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos*", Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia, 2009.
- [8] Hasenhuettl, Gerard L. and Hartel, Richard W., *Food Emulsifiers and Their Applications*, Second Edition, Springer, NY, USA, 2008, pp. 63-83.
- [9] Hernandez, Gil y Majem, Serra, *Libro blanco del pan*. Edición Editorial Panamericana. Madrid, España. 2010. pp. 30-32.

- [10] Ilkem Demirkesen, Behic Mert, Gulum Sumnu y Serpil Sahin, "*Rheological properties of gluten free bread formulations*", Journal of food engineering, Elsevier, 2009.
- [11] INVENTA Alimentos y Bebidas. Disponible en: [http://www.tuinventas.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=302:mejora-textura-del-pan-de-harina-de-arroz-gracias-al-fosfato-monosodico&catid=129:alimentos-y-bebidas&Itemid=297](http://www.tuinventas.com/index.php?option=com_content&view=article&id=302:mejora-textura-del-pan-de-harina-de-arroz-gracias-al-fosfato-monosodico&catid=129:alimentos-y-bebidas&Itemid=297).
- [12] Korus, Jarslow; Witczak, Mariusz; Ziobro, Rafal; & Juszczak, Leslaw, "*The impact of Resistant Starch on Characteristics of Gluten-Free Dough*", Food Hydrocolloids, 2008.
- [13] Magaña, E.; Ramirez, B.; Platt, L.C.; López, G.A.; Torres, P.I.; Sánchez, D.I., "*Caracterización Viscoelástica de Masas y Variedades de Trigos Suaves*", Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, México, 2009.
- [14] Marco C, Rossel C, "*Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads*", Eur, Food Res Technol, 2008.
- [15] Menard, Kevin, *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*, First Edition, Editorial CRC Press, United States of America, 1999, pp. 29 – 31.
- [16] Muller, G. H.; *Introducción a la Reología de los Alimentos*, Primera Edición, Editorial Acribia, Zaragoza-España, 1973, pp. 14, 17.
- [17] Picas, Carmen y Vigata, Anna, *Técnicas de pastelería, panadería y conservación de alimentos*, Primera Edición, Editorial Síntesis S.A., Madrid, España, pp. 69-88.
- [18] Ramirez, Navas y Juan, Sebastian, *Introducción a la reología de los alimentos*, Primera edición, Editorial Recitela, Cali-Colombia, 2006, pp. 10.
- [19] Sanches, H.D; Osella, C.A. y De la torre, M. A., "*Desarrollo de una fórmula para pan sin gluten*", Universidad Nacional del Litoral, Información Tecnológica-Vol. 7 N°2, Santa Fe, Argentina, 1996.
- [20] Sánchez, María Teresa, *Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas*, Primera Edición, AMV Ediciones, Madrid, España, 2003, Pág. 105-109.

[21] Sandoval, Galo; Álvarez, Mario; Paredes, Mayra y Lascano, Alexandra, "*Estudio Reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan*", Scientia Agropecuaria, tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2012.

[22] Sodium Carboxymethyl Cellulose: Chemistry, Functionality, and Applications. Disponible en: <http://class.fst.ohio-state.edu/fst621/Additive%20classes/cmctlk.pdf>.

[23] Markgraf, Wibke; Watts, Chris; Whalley, Richard and Horn, Rainer, "*Rheological investigations of Rothamsted soils: Long-term effects of fertilizing systems on soil microstructure*", World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing, 2010.

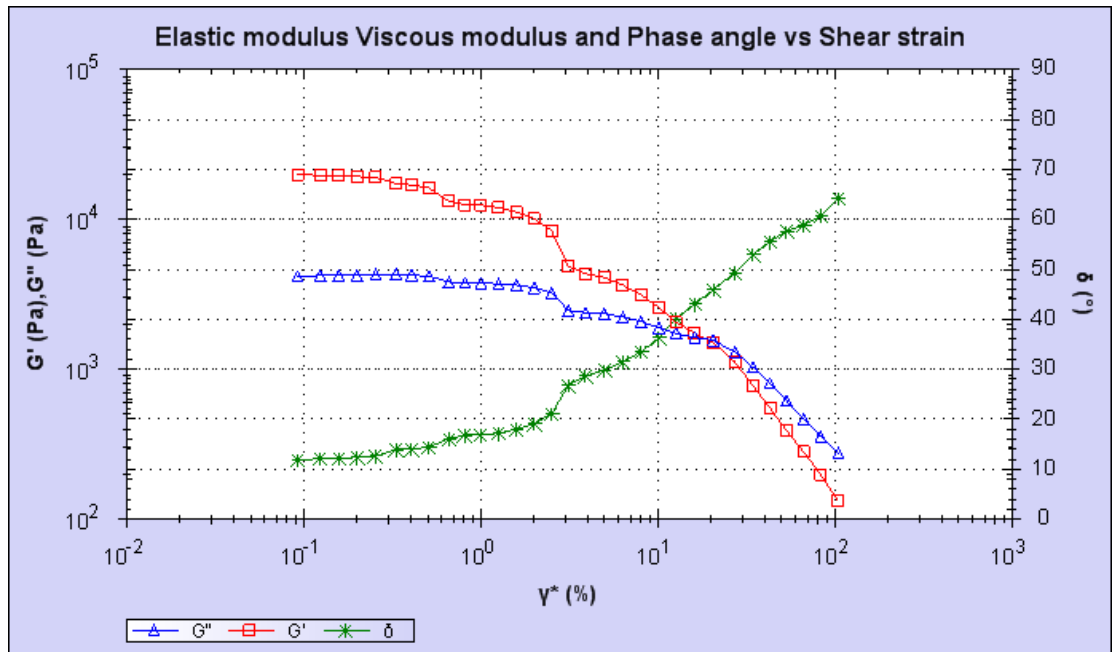
[24] Wyss, Hans; Larsen, Ryan; and Weitz, David, "*Oscillatory Rheology: Measuring the Viscoelastic Behaviour of Soft Materials*", Harvard University, Cambridge, USA, 2007.

# **ANEXOS**

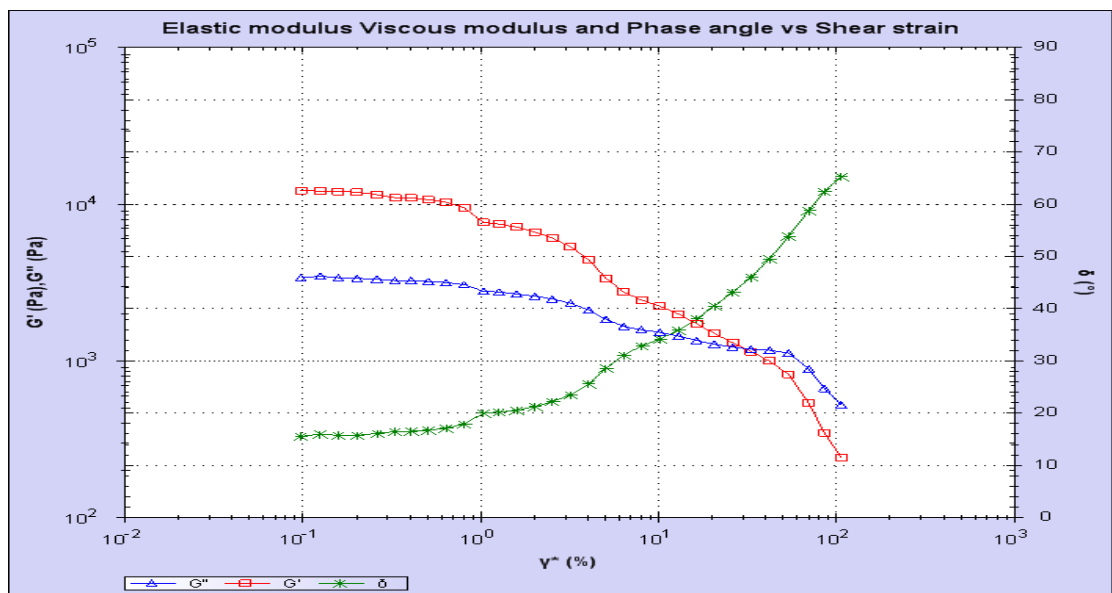
**ANEXO A**

**GRÁFICOS DE REGIÓN LINEAL**

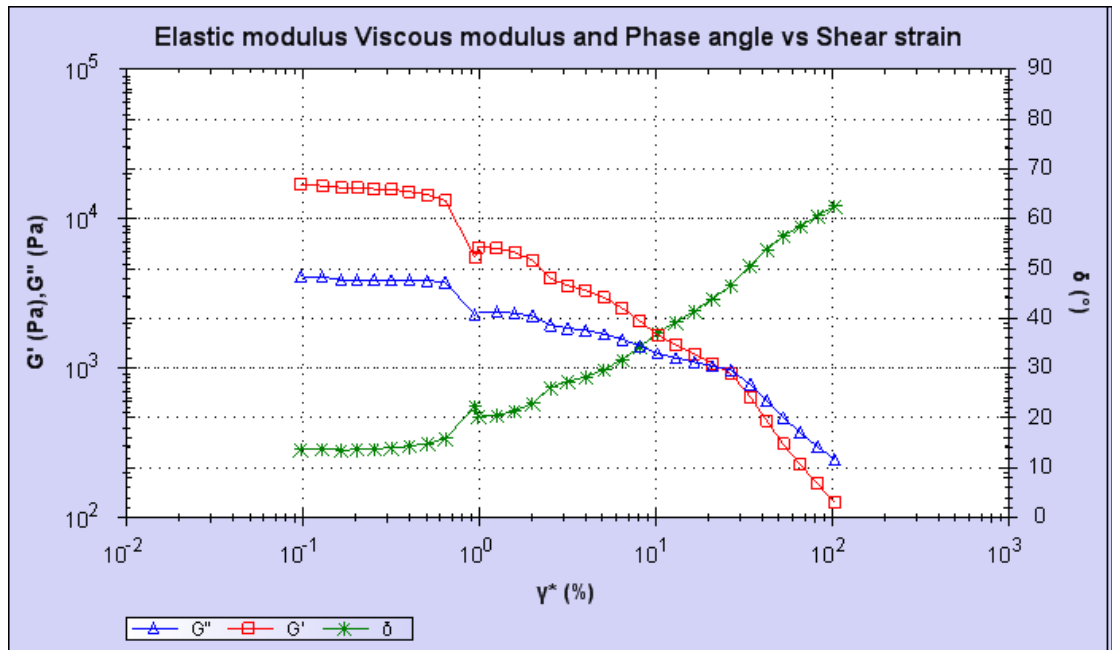
### Muestra con 0,3% de DM



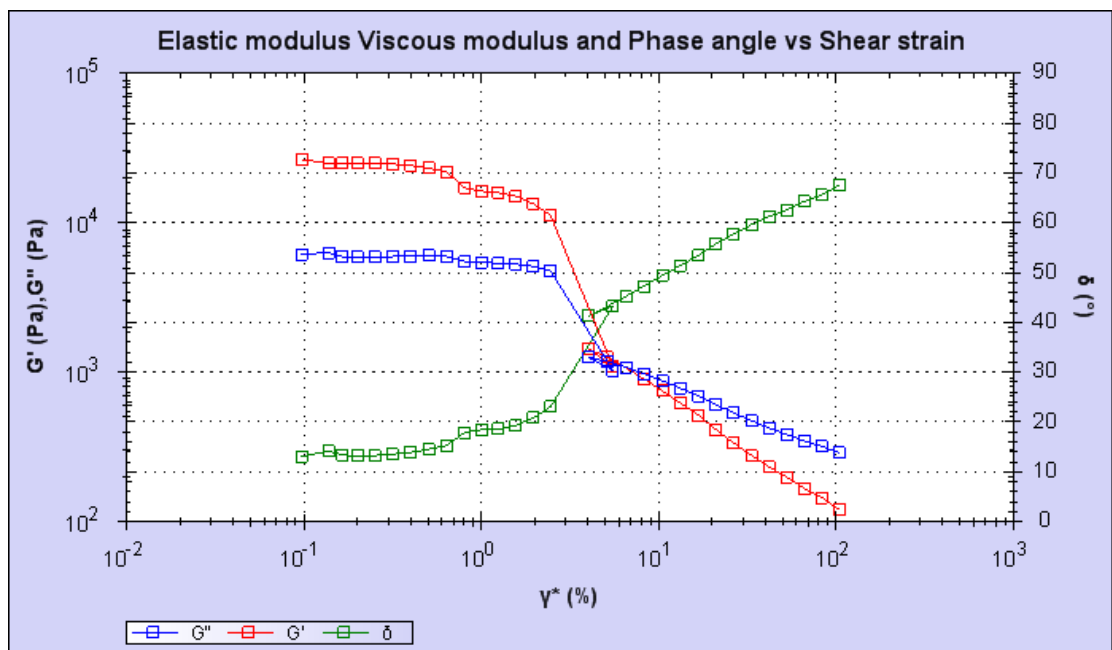
### Muestra con 1% de DM



### Muestra con 0,3% de SSL

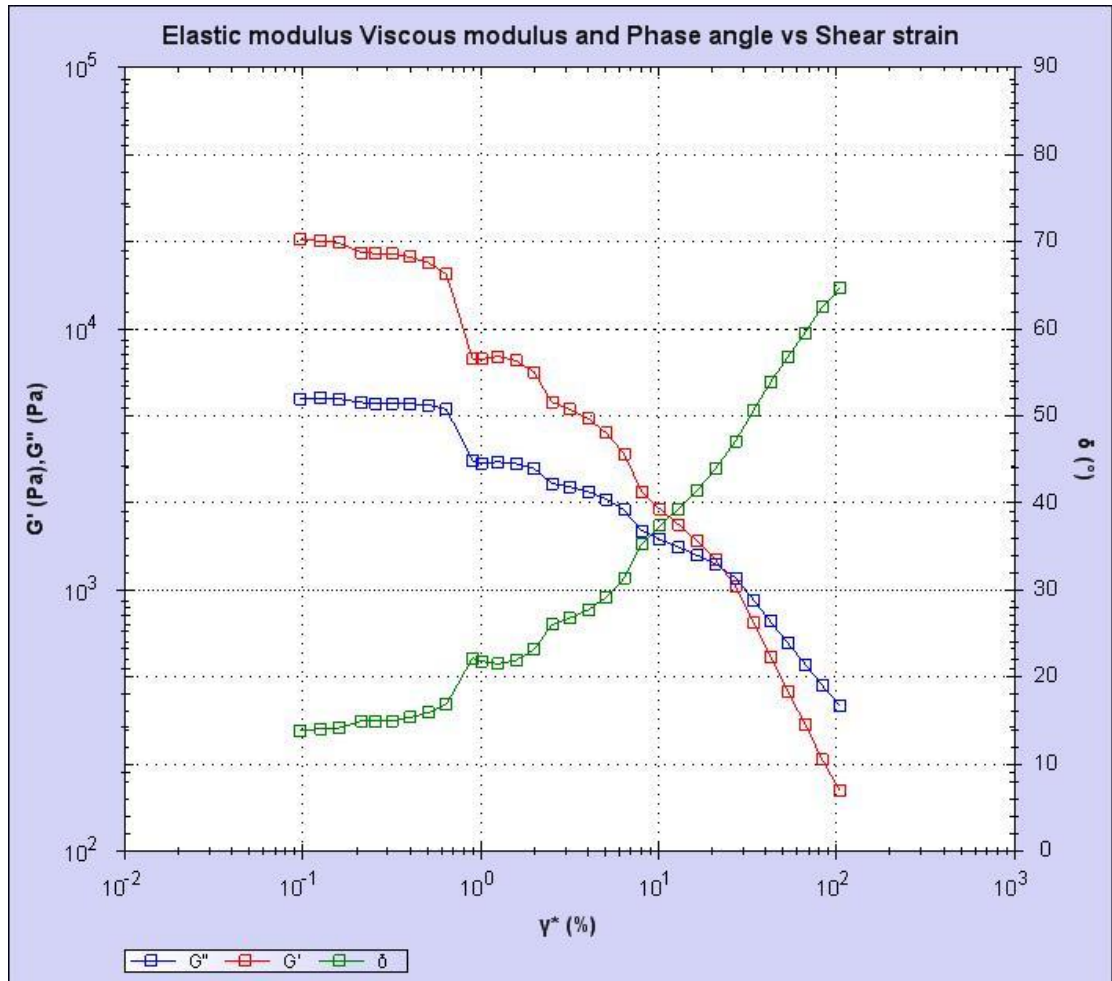


### Muestra con 0,5% de SSL





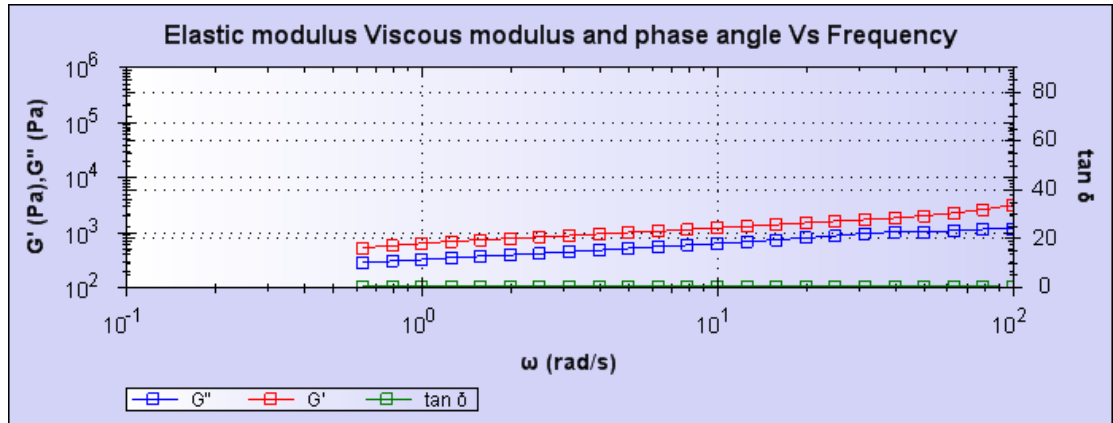
## Muestra blanco



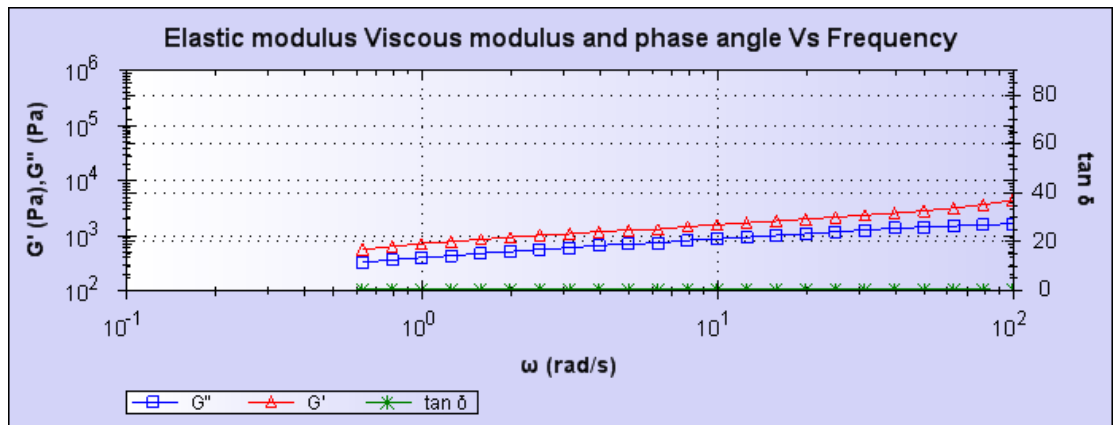
**ANEXO B**

**GRÁFICOS DE PRUEBA REOLÓGICA**

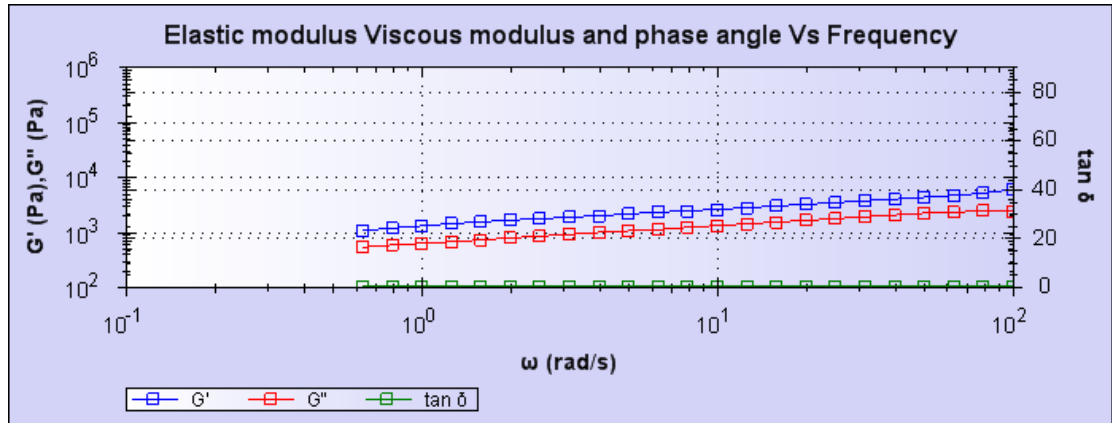
### Muestra con 0,3% DM



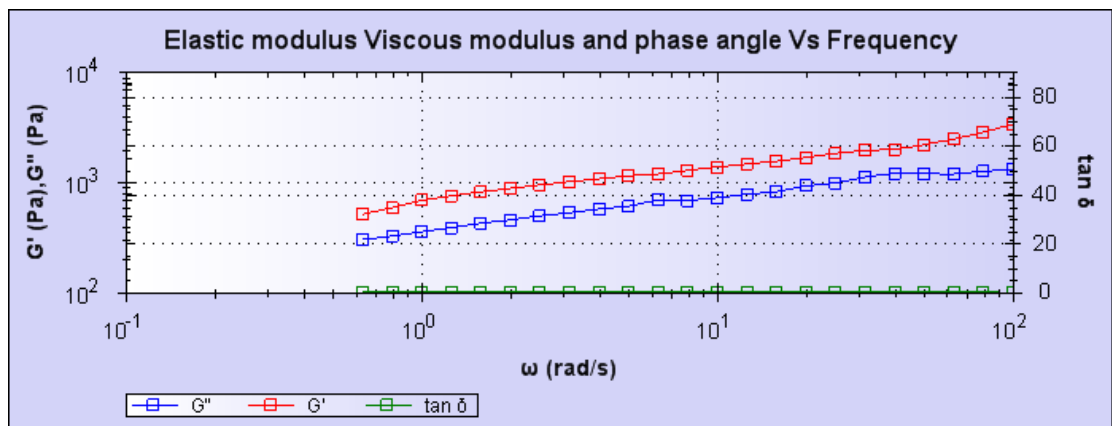
### Muestra con 1% de DM



### Muestra con 0,3% de SSL



### Muestra con 0,5% de SSL



## Muestra blanco

