

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

Fabiola Cornejo ⁽¹⁾, Ma. Gabriela Guevara ⁽²⁾, Nazre Murgueitio ⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
fcornejo@espol.edu.ec ⁽¹⁾, margague@espol.edu.ec ⁽²⁾, nazdamur@espol.edu.ec ⁽³⁾

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 (DM) y Estearoil 2 Lactilato de Sodio (SSL) a dos niveles de concentración, y las propiedades reológicas que se evaluaron fueron módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G''). Los resultados obtenidos indicaron que no existió diferencia significativa entre las concentraciones de un mismo aditivo. A pesar de esto, al comparar las muestras con la muestra blanco, el SSL a 0,5% maximizó los valores de G' y G'' , mientras que el DM a 1% no ejerció efecto significativo en la masa. Por otro lado, la concentración de 0,3% de DM solo ejerció un efecto significativo en G' y la concentración de 0,3% de SSL ejerció un efecto significativo tanto en G' como en G'' .

Palabras Claves: Propiedades reológicas, reómetro, masa de pan sin gluten, emulsionante, monoglicérido destilado, estearoil 2 lactato de sodio.

Abstract

The purpose of the present study was to evaluate the effect of two types of emulsifiers on the rheological characteristics present in gluten-free bread dough with rice flour. To evaluate these characteristics, the Kinexus Pro rheometer present in the laboratory LEMAT from ESPOL was used, in which a methodology of operation and sample preparation was implemented. The emulsifiers used were distilled monoglyceride (DM) and stearyl 2 lactylate (SSL) at two levels of concentration, and rheological properties evaluated were storage modulus (G') and loss modulus (G''). The results indicated that there was no significant difference between the concentrations of the same additive. Despite this, by comparing the samples with the target sample, 0.5% SSL maximized values of G' and G'' , whereas 1% DM had no significant effect on the dough. Moreover, the concentration of 0.3% of DM had a significant effect on G' and the concentration of 0.3% SSL had a significant effect in both G' and G'' .

Keywords: Rheological properties, rheometer, gluten-free bread dough, emulsifier, distilled monoglyceride, stearyl 2 lactylate.

1. 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 retrogradación 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 en 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.

2. Materiales y Métodos

2.1. Muestras

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 la muestra blanco (sin aditivo).

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 obteniendo la masa que fue sometida a la investigación.

Para las muestras con el emulsionante en estudio, se utilizó la misma fórmula y el mismo procedimiento pero agregándole los niveles de concentración de cada uno. En el caso del DM fue de 1% y 0,5% y el SSL fue a 0,5% y 0,3%.

Todos los ingredientes se compraron en un supermercado de la región y los emulsionantes fueron proporcionados por una industria panadera local.

2.2. Parámetros

Para evaluar las propiedades reológicas se utilizó el reómetro Kinexus Pro de la compañía Malvern. Primero se procedió a encontrar la región lineal y se trabajó bajo la temperatura de 25°C con una geometría de cono y plato, el primero con 40mm de diámetro y ángulo de 4° , y el segundo con 40mm de diámetro.

El rango de viscoelasticidad lineal fue establecido por los resultados del gráfico de G' y G'' vs Deformación. Los parámetros utilizados fueron de un rango de deformación de 0,1 a 100% a una frecuencia constante de 1 Hz. (Korus y Col, 2008).

La deformación constante adquirida por la región lineal de 0,1% fue empleada para la prueba reológica de frecuencia de barrido, en donde se lo aplicó a una frecuencia angular de 0,1-100 rad/s a una temperatura constante de 25°C . La geometría utilizada fue de platos paralelos, el de arriba con 20mm de diámetro y el de abajo con 40 mm de diámetro.



Figura 1. Kinexus Pro

2.3. Metodología

La metodología empleada para la medición de las propiedades reológicas consistió de la siguiente manera:

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

1. Una vez inicializado el software controlador del equipo, hacer clic en "Zero Gap".
2. El software le pide al usuario que inserte el plato y la geometría deseada.
3. Abrir la cubierta que protege la muestra.
4. Asegurarse que cualquier muestra haya sido removida del equipo.

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. El software le mostrará una ventana como la figura 2.

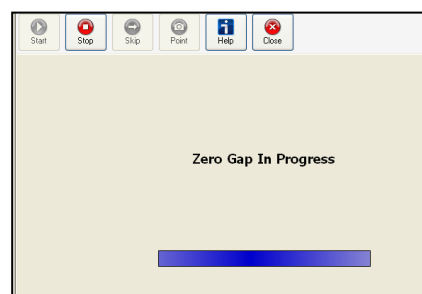


Figura 2. Proceso de Zero Gap.

2.3.2. 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".
2. El software reconocerá la geometría insertada, de lo contrario le pedirá que la inserte para su reconocimiento.
3. Abrir la cubierta que protege la muestra.
4. El usuario deberá seleccionar el tipo de muestra así como también el nombre de la misma.
5. El software indica que se debe abrir la cubierta. Este paso se repetirá hasta que la cubierta haya sido abierta correctamente.
6. Se procede a verter la muestra sobre el plato inferior con la ayuda de la cuchara auxiliar del kit del equipo.
7. El software le pedirá al usuario que especifique el gap requerido para la experimentación.
8. Limpiar el exceso de muestra, ya que de lo contrario existirán errores en la medición.
9. Por último, cierre el capó.

2.3.3. Unload Sample. Una vez terminada la corrida, el siguiente paso es retirar la muestra del equipo (unload sample), es un procedimiento que permite descargar la muestra y limpiar las geometrías para posteriormente realizar un zero gap, lo que deja listo el equipo para una nueva medición o simplemente para ser apagado. Los pasos se detallan a continuación.

1. Dar clic en "Unload Sample".
2. Abrir cuidadosamente la cubierta de la muestra, tal como lo indica el software controlador del equipo.
3. Limpiar la muestra del instrumento. Si es necesario remover las geometrías y limpiar. Se recomienda utilizar un paño húmedo.

2.3.4. Determinación de Región lineal. Para la determinación de la región lineal se procede de la siguiente manera:

1. Se debe elegir la secuencia Toolkit _O001 Amplitude Table (Strain Control).
2. Ingresar la temperatura deseada por el usuario. En el caso de nuestra investigación utilizamos 25°C.
3. Ingresar todos los parámetros de operación de la corrida.
4. 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".

2.3.4. Determinación de propiedades reológicas. A continuación se detalla el procedimiento de la prueba para la determinación del comportamiento de los módulos de pérdida y almacenamiento (G' y G'') bajo frecuencia angular.

1. Seleccionar la secuencia "Frequency Sweep".
2. Ingresar la temperatura a la cual se desea correr la secuencia. En el caso de esta investigación se utilizó 25°C.
3. Ingresar todos los parámetros de operación.

2.4. Diseño experimental.

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

2.5. 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.

3. Resultados

3.1. Resultados de comparación para G' y G'' por concentración de DM.

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). Se obtuvo un valor $p=0,0761456$, el cual es mayor que 0,05, concluyendo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas del componente elástico (G'), con un nivel del 95,0% de confianza.

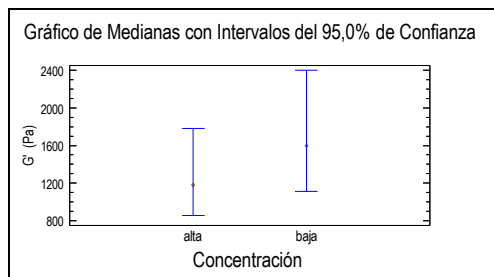


Figura 3. Gráfico de medianas para módulo de almacenamiento por concentración de DM.

En la figura 3 se puede apreciar que la concentración baja aumenta ligeramente los valores de G' lo que da indicios de que esta concentración favorece más a la masa sin gluten.

En el caso del componente viscoso (G''), se probó estadísticamente que las muestras poseen una distribución normal por lo que se procedió a realizar un análisis ANOVA. Se obtuvo un valor $p=0,0541$, lo que indica que las muestras no presentan diferencia significativa.

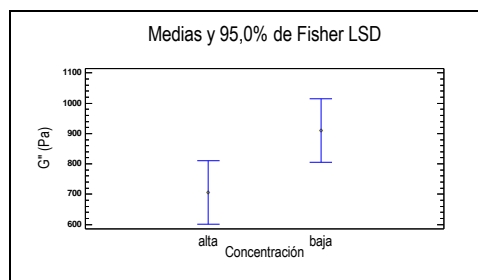


Figura 4. Gráfico de medias para módulo de pérdida por concentración de DM.

En la figura 4 se puede apreciar que la media de la concentración baja es mayor que la media de la concentración alta, indicando que la concentración a 0,3% es más favorable para la masa sin gluten.

3.2. Resultados de comparación para G' y G'' de concentración baja de DM frente a muestra blanco.

Se procedió a realizar la prueba Kruskal-Wallis debido a que las muestras de G' no tienen distribución normal. Se obtuvo un valor $p=0,0482958$, lo cual indica que la muestra con concentración baja presenta diferencia significativa frente a la muestra blanco.

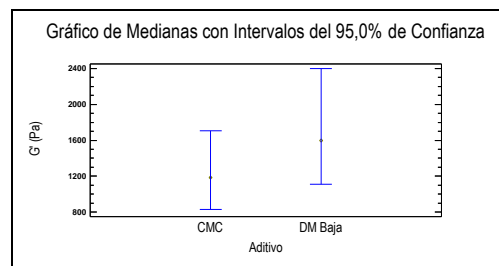


Figura 5. Gráfico de medianas para módulo de almacenamiento de concentración baja de DM frente a muestra blanco.

Se puede observar en la figura 5 una diferencia notable entre la muestra blanco y la muestra que contiene DM a baja concentración. Además la muestra con DM a baja aumenta considerablemente los valores del módulo de almacenamiento, lo que indica que esta concentración es bastante favorable para la masa de pan sin gluten ya que el aumento de elasticidad favorece en la retención de gas producido por la levadura.

Verificando el supuesto de normalidad para la muestra de G'' , se efectuó el análisis de varianza ANOVA, se obtuvo un valor $p=0,1630$, lo cual revela que la concentración baja de DM no ejerce efecto significativo sobre el componente viscoso de la muestra.

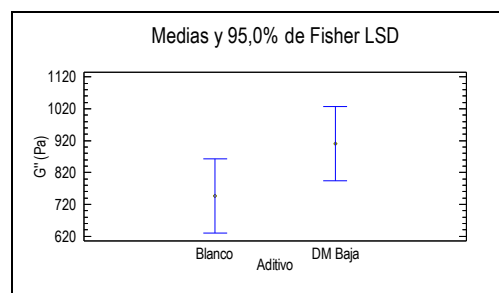


Figura 6. Gráfico de medias para módulo de pérdida para concentración baja de DM frente a muestra blanco.

En la figura 6, se puede notar que las medias están muy cercanas entre sí. Se puede decir que esta concentración no es significativamente favorable para la viscosidad de la masa sin gluten, ya que los valores de la misma, no incrementan de forma representativa.

3.3. Resultados de comparación para G' y G'' de concentración alta de DM frente a muestra blanco.

La data evaluada de G' no presenta una distribución normal, debido a esto, se efectuó un análisis de Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor $p \geq 0,05$ lo que indica que la concentración alta no ejerce efecto significativo en la masa de pan sin gluten. Esto puede ser debido a que las interacciones del DM con la amilopeptina son muy débiles y se cree que la harina utilizada contiene alto contenido de la misma. Esto puede explicar porque una concentración alta de DM no favorece a la masa de arroz y la concentración baja, como ya explicamos, si beneficia a su componente elástica.

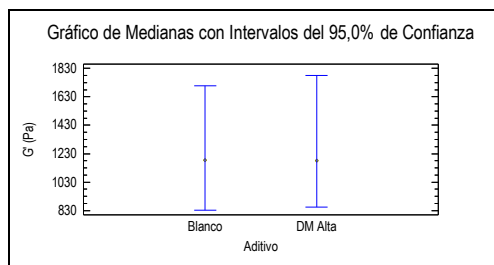


Figura 7. Gráfico de medianas para módulo de almacenamiento para concentración alta de DM frente a muestra blanco.

En la figura 7 se observa claramente una similitud en la distribución de las muestras, y la mediana están casi en el mismo punto. Esto demuestra que la concentración alta de DM no contribuye en mejorar la viscosidad de la masa con harina de arroz.

La data evaluada de G'' tiende a una distribución normal por lo que se aplicó la herramienta ANOVA y se obtuvo un valor $p \geq 0,05$, lo que indica que el DM tampoco ejerce efecto significativo en la componente viscosa de la muestra.

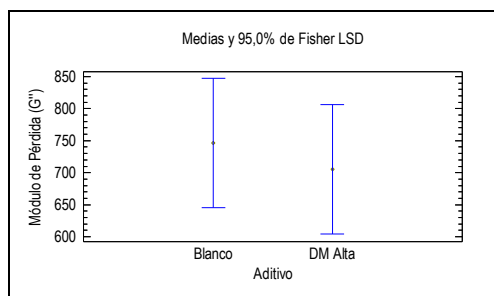


Figura 8. Gráfico de medias para módulo de pérdida para concentración alta de DM frente a muestra blanco.

En la figura 8 se observa que las medias de las dos muestras evaluadas se encuentran muy cercanas entre sí, demostrando que efectivamente la muestra con DM alta no favorece las propiedades viscosas de la masa.

3.4. Resultados de comparación para G' y G'' por concentración de SSL.

La data de G' y G'' tienden a una distribución normal por lo que se realizó la prueba ANOVA simple con factor emulsionante (en este caso SSL) a dos niveles de concentración (alta y baja). Se obtuvo un valor $p \geq 0,05$ en ambas concluyendo, que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del módulo de almacenamiento y módulo de pérdida de la muestra con SSL, entre un nivel de concentración y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

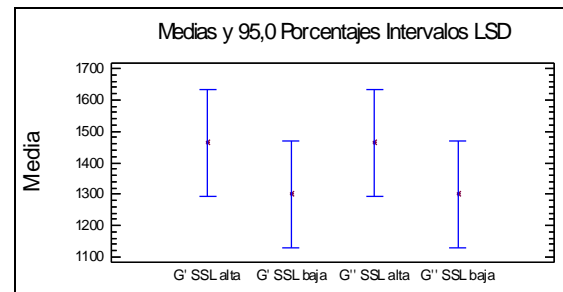


Figura 9. Gráfico de medias para módulo de almacenamiento y pérdida para concentración alta y baja de SSL.

En el gráfico 9 se observa un comportamiento similar entre los componentes viscoso y elástico según su concentración. Se puede encontrar indicios de que la concentración alta favorece más a la masa sin gluten ya que posee valores mayores de los componentes elástico y viscoso.

3.5. Resultados de comparación para G' y G'' de concentración baja de SSL frente a muestra blanco.

Se procedió a realizar un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor $p \leq 0,05$, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas 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.

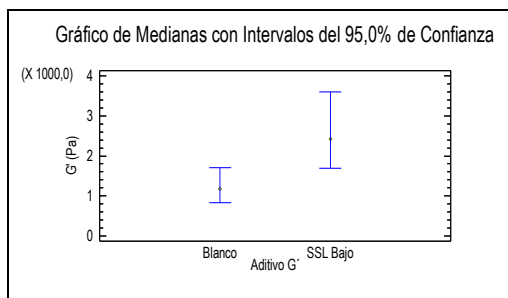


Figura 10. Gráfico de medias para módulo de almacenamiento para concentración baja de SSL frente a muestra blanco.

Se puede observar en la figura 10 que la muestra con SSL bajo, tiene valores mucho más elevados que la muestra blanco, lo que quiere decir que esta concentración favorece considerablemente a las propiedades elásticas de la masa.

En el caso de G'' , se realizó una prueba ANOVA y se obtuvo un valor $p \leq 0,05$, por lo que hay suficiente evidencia estadística para decir que la muestra con baja concentración difiere significativamente de la muestra blanco.

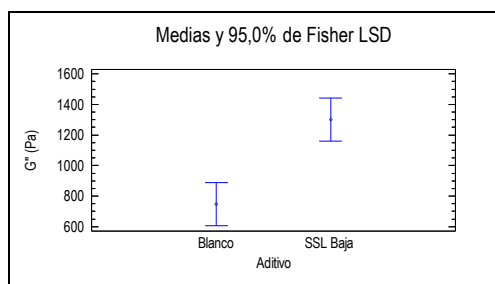


Figura 11. Gráfico de medias para módulo de pérdida para concentración baja de SSL frente a muestra blanco.

Se pudo comprobar, en la figura 11, 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.

3.6. Resultados de comparación para G' y G'' de concentración alta de SSL frente a muestra blanco.

La data de G' no posee una tendencia hacia la distribución normal, por lo tanto, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis y se obtuvo un valor $p \leq 0,05$ que indica una diferencia significativa entre la muestra blanco y la muestra con concentración alta de SSL.

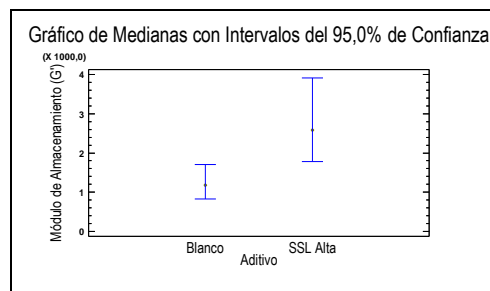


Figura 12. Gráfico de medias para módulo de almacenamiento para concentración alta de SSL frente a muestra blanco.

Se observó en la figura 12 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 al carecer de gluten, 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.

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, con el cual se obtuvo un valor $p \leq 0,05$, lo que quiere decir que existe diferencia significativa entre los valores de G'' de la muestra con concentración baja y la muestra blanco.

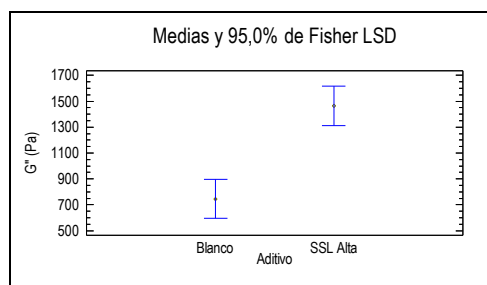


Figura 13. Gráfico de medias para módulo de pérdida para concentración alta de SSL frente a muestra blanco.

En la figura 13 se encontró un aumento significativo del componente viscoso de la muestra con SSL alta en comparación con la muestra blanco que carece del aditivo en estudio. El aumento de la viscosidad favorece a la masa por que la hace más manejable para su operación.

3.7. Resultados del efecto del tipo de aditivo en la masa de pan de arroz.

Se realizó un gráfico de comparación de toda la data representado en la figura 14, es decir, el componente elástico y viscoso con los emulsionantes DM y SSL, cada uno con su nivel de concentración.

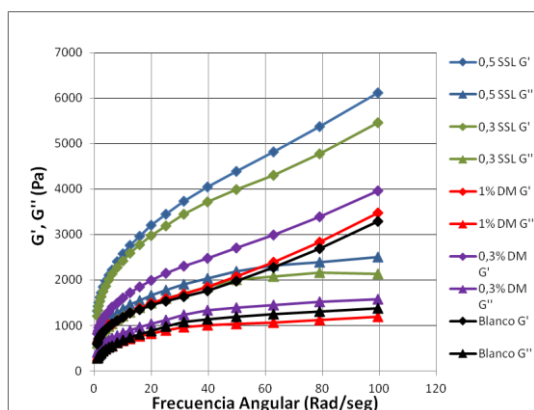


Figura 14. Gráfico de G' y G'' vs Frecuencia Angular de SSL y DM con sus niveles de concentración

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 mismo 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. 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)

4. 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 sospechamos 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 emulsionante 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 delta es mayor a 0,1 lo cual implica la caracterización de un masa débil. Esto es debido a que siempre se encontró un predominio en el componente elástico sobre el viscoso.

Para futuras investigaciones similares, recomendamos 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, recomendamos 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.

5. Agradecimientos

Al laboratorio LEMAT por la ayuda brindada y por permitirnos el uso del reómetro Kinexus Pro.

6. Referencias

- [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, Pág. 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, Pág. 63-83.
- [9] Hernandez, Gil y Majem, Serra, *Libro blanco del pan*. Edición Editorial Panamericana. Madrid, España. 2010. Págs. 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] Korus, Jarslow; Witczak, Mariusz; Ziobro, Rafal; & Juszczak, Leslaw, "*The impact of Resistant Starch on Characteristics of Gluten-Free Dough*", Food Hydrocolloids, 2008.
- [12] 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.
- [13] Marco C, Rossel C, "*Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads*", eur, Food Res Technol, 2008.
- [14] Menard, Kevin, *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*, First Edition, Editorial CRC Press, United States of America, 1999, pp. 29 – 31.
- [15] Muller, G. H.; *Introducción a la Reología de los Alimentos*, Primera Edición, Editorial Acibia, Zaragoza-España, 1973, pp. 14, 17.
- [16] Picas, Carmen y Vigata, Anna, *Técnicas de pastelería, panadería y conservación de alimentos*, Primera Edición, Editorial Síntesis S.A., Madrid, España, pp. 69-88.
- [17] Ramirez, Navas y Juan, Sebastian, *Introducción a la reología de los alimentos*, Primera edición, Editorial Recitela, Cali-Colombia, 2006, pp. 10.
- [18] 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.
- [19] Sánchez, María Teresa, *Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas*, Primera Edición, AMV Ediciones, Madrid, España, 2003, Pág. 105-109.
- [20] 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, Ecuador, 2012.
- [21] 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.
- [22] Wyss, Hans; Larsen, Ryan; and Weitz, David, "*Oscillatory Rheology: Measuring the Viscoelastic Behaviour of Soft Materials*", Harvard University, Cambridge, USA, 2007.