7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN DE CUATRO MARCAS COMERCIALES

Para obtener las características propias de una salsa picante hecha a base de chile de árbol, se eligieron y compraron en un supermercado local cinco marcas comerciales de salsas rojas picantes de diferentes tipos. Estas marcas fueron:

1. **Don Carlos**, salsa de chile de árbol tipo "Gourmet"

   Marca: Don Carlos; Consumo preferente: Ago 2012

2. **Tampico**, salsa extra picante

   Marca: Búfalo; Consumo preferente: Feb 2011

3. **Valentina**, salsa picante

   Marca: Valentina; caducidad: Nov 2014

4. **Búfalo**, salsa clásica tipo picante

   Marca: Búfalo; consumo preferente: Mar 2011

7.1.1 Densidad

Los valores de la densidad obtenidos para las marcas comerciales se muestran en la Tabla III, donde se puede ver que los valores variaron entre 1038.59 y 1107.09 kg/m³.

Tabla I. Densidad de salsas comerciales.

Marca	Densidad (kg/m³)	Desv. Est.
Don Carlos	1079.36	±3.61
Tampico	1038.59	±13.84
Valentina	1048.13	±8.57
Búfalo	1107.09	±2.11

En la Tabla III se observa que la densidad para todas las salsas es mayor a 1000 kg/m^3 (agua) esto se debe a su alto contenido de humedad. No existe un dato estándar para salsas

picantes ya que cada tipo de salsa tiene su peculiaridad en cuanto al tipo de ingredientes que contiene. Por otro lado se puede mencionar que los valores son mayores a la densidad del agua ya que ninguna salsa contiene aceite (cuya densidad es <1000 kg/m^3) como parte de sus ingredientes, que además son sólidos, como ocurre en el caso de algunos aderezos. De Cindio y Cacace (1995) estudiaron emulsiones alimenticias y se dieron cuenta que el contenido de aceite afecta directamente en la densidad.

Se realizó un análisis ANOVA de una vía para esta propiedad al 95% de confianza (Apéndice B) por medio del cual se pudo determinar que, para la densidad, no existieron diferencias significativas entre la salsas comerciales "Tampico" y "Valentina" (1038.69 y 1048.13 kg/m^3 respectivamente) mientras que para las salsas "Don Carlos" y "Búfalo" (1079.36 y 1107.0 kg/m^3 respectivamente) existió diferencia significativa entre ellas y entre las dos anteriores.

7.1.2 Humedad

Se determinaron los porcentajes de humedad por triplicado para cada una de las salsas comerciales, en la Tabla IV se muestran los valores promedio obtenidos:

Tabla II. Contenido de humedad de salsas comerciales**.**

Marca	% Humedad	Desv. Est.
Don Carlos	86.99	±0.41
Tampico	92.92	±0.36
Valentina	83.33	±0.75
Búfalo	91.15	±0.16

De acuerdo con los datos presentados por Mckee *et al.* (2003), el contenido de humedad en salsas rojas, varía entre 87.2 y 91.9% lo cual se asemeja mucho a los valores obtenidos

experimentalmente para las salsas rojas comerciales de este estudio ya que las magnitudes obtenidas variaron entre 83.33 y 92.92%.

Realizando un ANOVA de una vía para el %Humedad de las salsas comerciales con el 95% de confianza (Apéndice B) se determinó que todas las salsas comerciales presentaban diferencias significativas entre ellas.

7.1.3 Actividad de agua

Los valores de actividad de agua se muestran en la Tabla V.

Tabla III. Actividad de agua de marcas comerciales

Marca	**a_w**
Don Carlos	0.962
Tampico	0.974
Valentina	0.971
Búfalo	0.952

En la Tabla V, se puede observar que los datos de actividad de agua de las marcas comerciales varían entre 0.952 y 0.974. De acuerdo a información de Smith y Stratton (2007) se considera que un nivel de actividad de agua de 0.850 es seguro para limitar el crecimiento de patógenos, ya que es el punto en el cual *Staphylococcus aureus* ya no puede crecer ni producir toxinas y a una actividad de agua por debajo de 0.930, *Clostridium botulinum* ya no puede crecer. Con los valores obtenidos para las salsas comerciales se puede decir que son alimentos húmedos ya que todos tienen una a_w mayor a 0.850, por lo cual es necesario considerar algunas otras barreras para controlar el crecimiento de patógenos. Es importante mencionar que tanto el pH como la acidez y la adición de algún antimicrobiano son factores importantes para asegurar la inocuidad de un alimento (Smith y Stratton, 2007), por lo tanto, a pesar de tener un nivel elevado de a_w (>0.850), se deben

que tener en cuenta los factores antes mencionados para asegurar que la salsa sea un producto seguro.

7.1.4 Acidez

Los resultados de esta prueba (Tabla VI) muestran que la acidez de las marcas comerciales osciló entre 2.44 y 4.62%. Se tomaron estos valores como el porcentaje (peso/peso) de ácido acético presente en las muestras ya que éste se consideró ser el ácido mayoritario en el alimento.

Tabla IV. Acidez de salsas comerciales

Marca	% Acidez	Desv. Est.
Don Carlos	3.26	±0.03
Tampico	3.51	±0.04
Valentina	2.44	±0.03
Búfalo	4.62	±0.08

Se considera que los niveles máximos de uso para el ácido acético son del 3% en aderezos y ensaladas (Doores, 2002). A pesar de que para tres de las marcas comerciales este porcentaje excede al 3% (Don Carlos, Valentina y Búfalo) es importante tomar en cuenta que los chiles destacan por su alto contenido en ácido ascórbico. Por lo tanto, la presencia de éste ácido puede afectar el porcentaje reportado y no ser en su totalidad ácido acético.

Se realizó un ANOVA de una vía para el %Acidez de las salsas comerciales con el 95% de confianza (Apéndice B) con el cual se logró determinar que hubo diferencias significativas entre todas las salsas comerciales, siendo las salsas “Don Carlos” y “Tampico” las que más se acercaron entre sí.

7.1.5 pH

En la Tabla VII se pueden observar los valores obtenidos para pH de las marcas comerciales.

Tabla V. pH de salsas comerciales

Marca	pH	Desv. Est.
Don Carlos	3.17	± 0.04
Tampico	2.66	± 0.01
Valentina	3.33	± 0.04
Búfalo	3.11	± 0.01

En esta tabla se puede observar que las salsas comerciales tienen valores de pH entre 2.66 y 3.33. Ya que el pH es una propiedad importante en cuanto a la seguridad microbiológica de los alimentos, un pH por debajo de 4.6 inhibe la producción de la toxina producida por *Clostridium botulinum* (Smith y Stratton, 2007). Un pH menor a 4.6 es un buen factor para asegurar una vida larga de anaquel y evitar crecimiento de patógenos.

Se realizó un ANOVA de una vía para ésta propiedad con el 95% de confianza (Apéndice B) con el cual se logró determinar que no existió diferencia estadísticamente significativa entre las salsas comerciales "Don Carlos" y "Búfalo" para las cuales se obtuvo un pH de 3.17 y 3.11 respectivamente.

7.1.6 Color

Los parámetros de color en cuanto a la escala de Hunter, se muestran en la Tabla VIII.

Tabla VI. Parámetros L, a, b obtenidos para las salsas comerciales

Muestra	**L**	Desv. Est.	**a**	Desv. Est**.**	**b**	Desv. Est.
Don Carlos	21.78 ± 0.02		+ 16.37 ± 0.01		+ 13.07 ± 0.01	
Tampico	19.01 ± 0.01		+ 15.28 ± 0.01		+ 11.39 ± 0.01	
Valentina	27.46 ± 0.25		+ 20.48 ± 0.35		+ 17.10 ± 0.07	
Búfalo	20.85 ± 0.22		+ 14.40 ± 0.35		+ 11.44 ± 0.4	

L= luminosidad (L=100=blanco, L=0=negro); a= rojo-verde (+a=rojo, -a=verde); b=amarillo-azul (+b =amarillo, -b=azul).

Estudios realizados por Mckee *et al.* (2003) muestran que los parámetros de salsas hechas a base de chiles rojos varían de la siguiente manera. Para L varían entre 30.81 y 34.23,

indicando que todas las muestras son relativamente obscuras. Para las salsas comerciales estudiadas los valores de L van de 19.01 a 27.46, siendo la salsa Tampico la más obscura y la salsa Valentina la más luminosa, pero aún así las salsas comerciales utilizadas en este estudio son menos obscuras que las presentadas por Mckee *et al*. (2003). Los valores positivos de a indican que cercanía al color rojo, entre mayor sea el valor de a, más roja será la salsa. Los valores de a para Mckee *et al.* (2003) variaron entre +14.73 y +22.62 y para este estudio variaron entre +14.4 y +20.48. Estos valores se acercaron más a los reportados. El color rojo de las salsas depende básicamente de los ingredientes así como los pigmentos que contenga el chile. Los valores de b variaron entre + 11.39 y + 17.10 contra los valores reportados por Mckee *et al*. (2003) que fueron de + 10.35 a 14.60 indicando mayor cercanía al color amarillo que al azul.

Se realizó un ANOVA de una vía para cada uno de los parámetros de color (L, a, b) de las salsas comerciales con el 95% de confianza (Apéndice B). Con respecto al parámetro L se logró determinar que hubo diferencias significativas entre todas las salsas comerciales. Se consideró el parámetro a el más importante ya que el color rojo fue el característico de éstas salsas. Para dicho parámetro , se encontró que la salsa "Valentina" fue la única con diferencia estadísticamente significativa (a=20.48) mientras que los valores para las salsas "Don Carlos" y "Tampico" y "Búfalo" fueron de 16.37, 15.28 y 14.40 respectivamente.

7.1.7 Separación de fases

La separación de fases se cuantificó con una prueba de estabilidad y se reportó como porcentaje de la suspensión remanente luego de que un volumen conocido de suspensión se centrifugó a un tiempo y fuerza determinado. Weber *et al*. (1974) hicieron esta prueba con emulsiones y la midieron a 6450 rpm (2000 g) por 14 minutos. Debido a la disponibilidad de equipo y las características de los sistemas a estudiar se utilizaron 2000 rpm (192.3 g) durante un minuto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla IX.

Tabla VII. Estabilidad de las salsas comerciales

Muestra	%Estabilidad	Desv. Est.
Don Carlos	97%	±0.01
Tampico	100%	±0.00
Valentina	100%	±0.00
Búfalo	100%	±0.00

Como se puede observar en la Tabla IX, las salsas comerciales muestran gran estabilidad con un porcentaje mayor a un 96. En el caso de la salsa Don Carlos cuya estabilidad fue de 97%, se le atribuyó a que dentro de sus ingredientes no incluye ninguna goma. La presencia de una goma evitaría la separación de fases, formando una suspensión coloidal más estable, como ocurre para las demás muestras.

7.1.8 Propiedades de flujo

Las propiedades de flujo de las marcas comerciales de salsas fueron medidas con un viscosímetro Brookfield DVIII. Se realizaron dos ajustes a los parámetros reológicos, uno con el modelo de Ley de Potencia y otro con el de Herschel – Bulkley. Posteriormente se evaluó su porcentaje de error relativo medio (PEM) y la raíz cuadrada del error medio (RMSE). Al tener los valores de las pruebas de bondad de ajuste se eligió el modelo que mejor ajustara o el que menor error presentara. Todas las muestras presentaron un comportamiento no-Newtoniano, pseudoplástico, como se muestra a continuación en las Figuras 3, 4, 5 y 6.

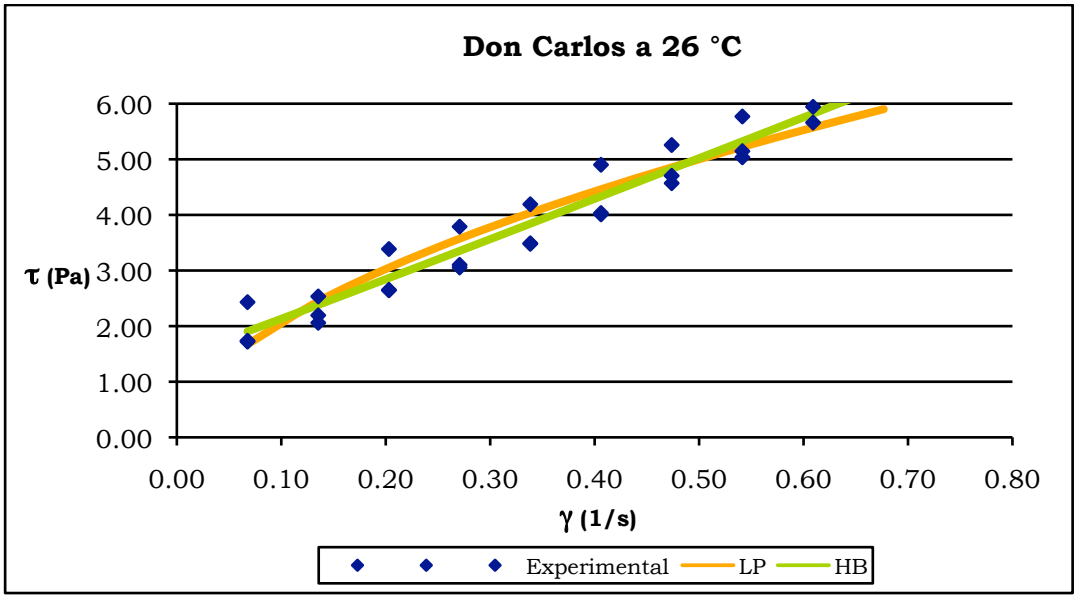


Fig. 1. Reograma para la salsa comercial "Don Carlos"

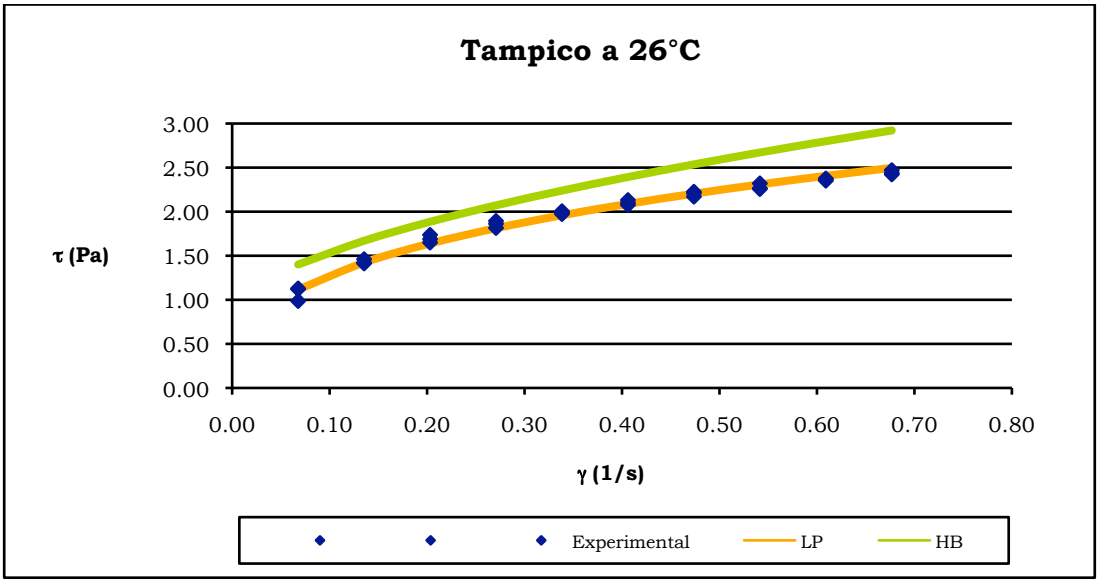


Fig. 2. Reograma para la salsa comercial "Tampico"

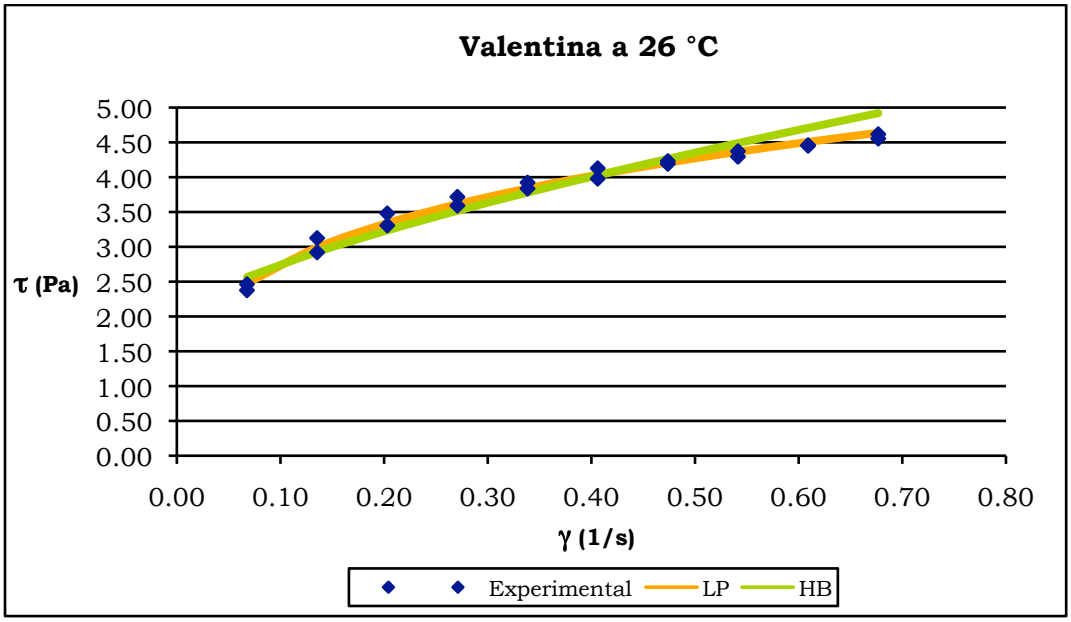


Fig. 3. Reograma para la salsa comercial "Valentina"

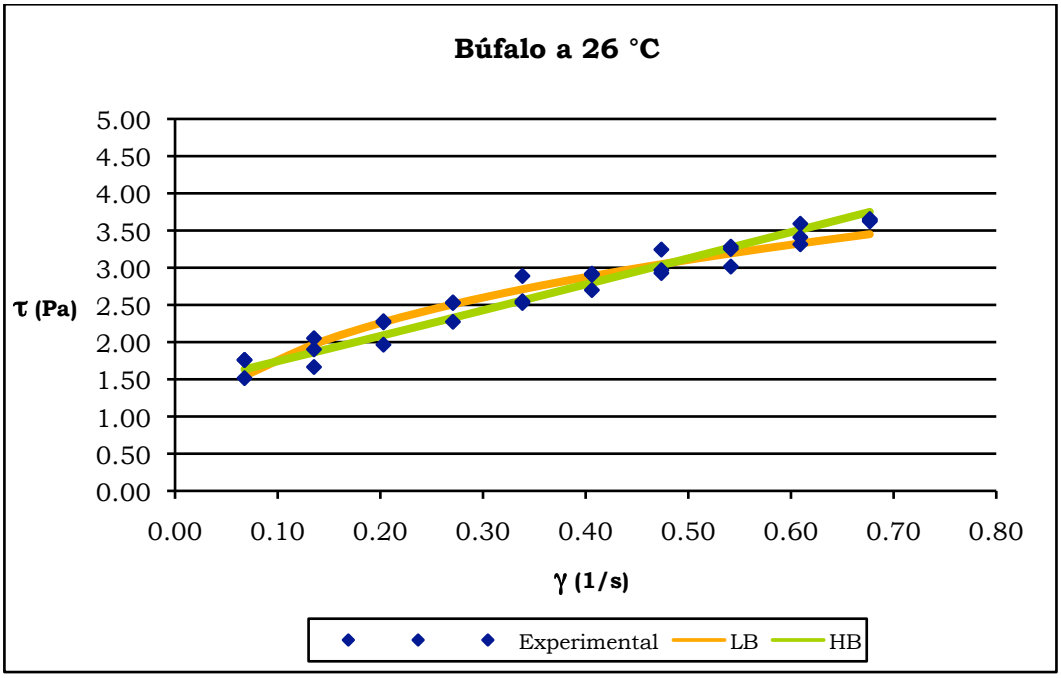


Fig. 4. Reograma para la salsa comercial "Búfalo"

En el caso de la salsa "Tampico" y "Valentina" se modeló su comportamiento por medio de la Ley de Potencia, concluyendo que tienen un comportamiento pseudoplástico. Para la salsa "Tampico" los porcentajes de error para el modelo de Ley de Potencia fueron de 2.25

y 0.04 % para PEM y RMSE respectivamente, comparados con 16.21 y 0.32 % para el modelo Herschel-Bulkley. En el caso de la salsa "Valentina" fueron de 0.84 y 0.03 % (LP) contra 3.65 y 0.16 % (HB) de En la Tabla X se muestran los valores de K y *n* obtenidos para Ley de Potencia:

Tabla VIII. Modelo de Ley de Potencia de salsas comerciales "Tampico" y "Valentina"

	Ley de Potencia	
Marca	**K(Pa·s^n)**	***n***
Tampico	2.86 ± 0.09	0.35 ± 0.02
Valentina	5.16 ± 0.02	0.27 ± 0.01

Tanto para el caso de la salsa "Don Carlos" como para la "Búfalo" se ajustaron mejor al modelo Herschel – Bulkley ya que "Don Carlos" presentó un error de 2.11 % (PEM) y 0.09% (RMSE) contra 3.25 y 0.12% para el modelo de Ley de Potencia y la salsa Búfalo tuvo errores de 2.51 y 0.08% para HB contra 3.25 y 0.1% para LP. Con esto se puede decir que, para estas dos marcas, se necesita un esfuerzo de cedencia (τ_o) para hacerlas fluir. En la Tabla XI se muestran los valores obtenidos:

Tabla IX. Modelo de Herschel-Bulkley de salsas comerciales "Don Carlos" y "Búfalo"

	Herschel y Bulkley		
Marca	**τ_o(Pa)**	**K(Pa·s^n)**	***n***
Don Carlos	1.44 ± 0.34	7.31 ± 0.34	0.55 ± 0.06
Búfalo	1.42 ± 0.32	3.95 ± 0.14	0.35 ± 0.03

Como se puede observar en las Tablas X y XI, todas las salsas comerciales presentaron un comportamiento pseudoplástico (n<1) tal como lo describen Martínez y Rivera (2006) quienes observaron el comportamiento pseudoplástico en salsas picantes.

Martínez y Rivera (2006) obtuvieron valores para salsa "Valentina" de 3.53 $Pa \cdot s^n$ para el coeficiente de consistencia (K) y 0.28 para índice de flujo (*n*).

7.1.9 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó por duplicado en una ocasión. Se cuantificaron mesófilos aerobios y mohos y levaduras como unidades formadoras de colonias (UFC) por mL de salsa.

En la Tabla XII se muestran los resultados obtenidos para la prueba de mesófilos aerobios y en la Tabla XIII se muestran los resultados obtenidos para mohos y levaduras de las cuatro salsas comerciales.

Tabla X. Resultados para la prueba de mesófilos aerobios.

BMA				
	Dilución	**Cuenta en caja**	**UFC/mL**	
Don Carlos	(-3)	0 0	<10	
Tampico	(-3)	0 0	<10	
Valentina	(-1)	66 86	760	*
Búfalo	(-3)	31 22	26,500	*
*Valor estimado				

Tabla XI. Resultados para la prueba de mohos y levaduras

Mohos y levaduras			
	Dilución	**Cuenta en caja**	**UFC/mL**
Don Carlos	(-3)	0 0	<10
Tampico	(-3)	0 0	<10
Valentina	(-3)	0 0	<10
Búfalo	(-3)	0 0	<10

Para las salsas comerciales Don Carlos, Tampico, Valentina se tiene que el número de UFC/mL está por debajo del máximo estipulado para salsas por la NOM-093-SSA1-1994; para mesófilos aerobios es de 5000 UFC/mL. Esto no ocurre para la salsa Búfalo la cual se encuentra por arriba del máximo permitido teniendo 26, 500 UFC/mL.

En cuanto a mohos y levaduras todas las marcas comerciales presentan cuantas de 0 UFC/mL siendo que para salsas tipo mayonesa y aderezos (NOM-093-SSA1-1994) el máximo permitido es de 20 UFC/mL para mohos y 50 UFC/mL para levaduras.

7.2 CARACTARIZACIÓN DEL PRIMER GRUPO DE SISTEMAS

Los doce sistemas preparados para el análisis del efecto de los componentes en las propiedades fisicoquímicas, de flujo y microbiológicas de la salsa se muestran en la Figura 7 en donde también se muestran las distintas concentraciones de goma xantana (GX) y benzoato de sodio (BNa).

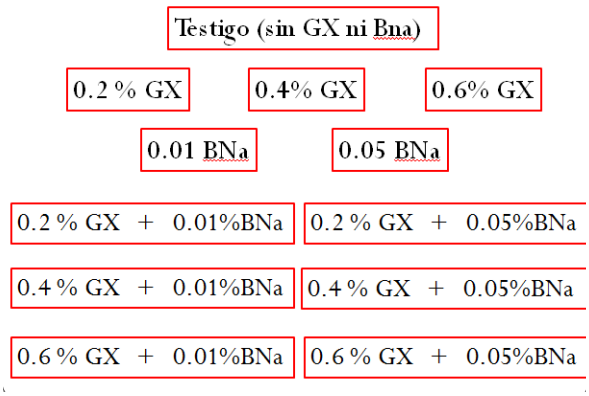


Fig. 5. Características del primer grupo de sistemas preparado

7.2.1 Densidad

La densidad de los sistemas se mantuvo constante a través del tiempo y los valores se muestran en la Tabla XIV.

Tabla XII. Densidad del primer grupo de sistemas

Sistema	Densidad (kg/m^3)	Desv. Est.
Testigo	1049.32	± 3.2
0.2 GX	1060.54	± 8.5
0.4 GX	1044.03	± 3.1
0.6 GX	1046.43	± 3.3
0.01 BNa	1048.10	± 6.9
0.05 BNa	1054.62	± 3.3
0.2 GX + 0.01 BNa	1049.32	± 3.2
0.2 GX + 0.05 BNa	1060.54	± 8.5
0.4 GX + .01 BNa	1044.03	± 3.1
0.4 GX + .05 BNa	1046.43	± 3.3
0.6 GX + .01 BNa	1048.10	± 6.9
0.6 GX + 0.05 BNa	1054.62	± 3.3

Los valores de densidad para los sistemas elaborados variaron entre 1044.03 y 1060.54 kg/m^3. Estos valores fueron parecidos a los obtenidos para las marcas comerciales, los cuales variaron entre 1038.59 y 1107.09 kg/m^3.

7.2.2 Humedad

El contenido de humedad de los sistemas preparados expresado en porcentaje peso/peso, se muestra en la Tabla XV. Para determinar el efecto de las variables sobre la humedad de los sistemas se realizó un análisis de varianza (Apéndice B) en donde el único factor que tuvo

un efecto estadísticamente significativo ($p<0.05$), sobre la humedad, fue la presencia de benzoato de sodio.

Tabla XIII. Contenido de humedad de los sistemas preparados

Sistema	% Humedad	Desv. Est.
Testigo	86.6	± 1.53
0.2 GX	82.3	± 6.71
0.4 GX	84.8	± 5.84
0.6 GX	90.5	± 1.29
0.01 BNa	89.3	± 0.33
0.05 BNa	88.4	± 1.37
0.2 GX + 0.01 BNa	88.2	± 0.09
0.2 GX + 0.05 BNa	88.7	± 0.11
0.4 GX + .01 BNa	90.8	± 0.33
0.4 GX + .05 BNa	91.1	± 0.42
0.6 GX + .01 BNa	91.8	± 2.79
0.6 GX + 0.05 BNa	90.3	± 0.07

Los valores de humedad variaron entre 82.3 y 91.8% siendo estos muy similares a las salsas comerciales las cuales variaron entre un 83.3 y 92.9%.

7.2.3 Actividad de agua

Los valores de actividad de agua obtenidos para los sistemas elaborados se muestran en la Tabla XVI. Las mediciones se realizaron en dos ocasiones, semana 0 y semana 1, ésta última siendo el día 10.

Tabla XIV. Actividad de agua del primer grupo de sistemas elaborados.

Sistema	a_w Semana 0	Semana 1
Testigo	0.988	0.984
0.2 GX	0.981	0.983
0.4 GX	0.985	0.982
0.6 GX	0.982	0.987
0.01 BNa	0.998	0.988
0.05 BNa	0.991	0.986
0.2 GX + 0.01 BNa	0.982	0.986
0.2 GX + 0.05 BNa	0.978	0.979
0.4 GX + .01 BNa	0.977	0.981
0.4 GX + .05 BNa	0.979	0.979
0.6 GX + .01 BNa	0.982	0.985
0.6 GX + 0.05 BNa	0.983	0.986

Los valores de actividad de agua se mantienen en un rango entre 0.977 y 0.998 para todos los sistemas. Y se puede decir que con respecto al tiempo la actividad de agua se mantiene constante a través del tiempo indicando la estabilidad acuosa de los componentes como se puede observar en la Figura 8.

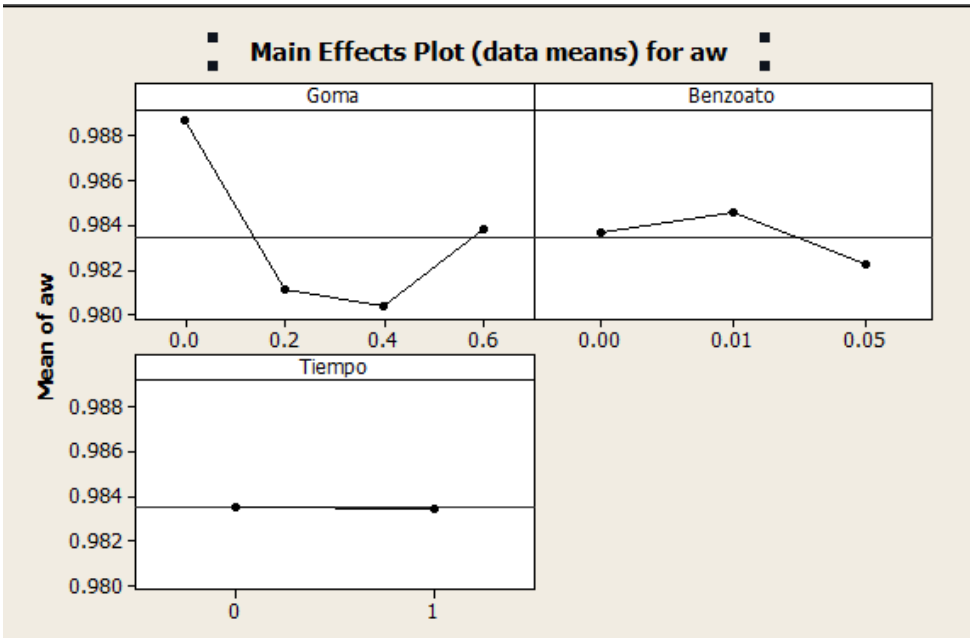


Fig. 6. Efectos principales presentes en la actividad de agua del primer grupo de sistemas elaborados.

En la Figura 8 se puede observar que la presencia de goma es la que tiene un efecto sobre la actividad de agua de los sistemas. Al agregar goma a los sistemas en una concentración de 0.2% y 0.4%, la actividad de agua se ve disminuida de 0.989 a 0.981. Al aumentar la concentración de goma a 0.6% la actividad de agua aumenta hasta 0.984 pero aún así se mantiene por debajo de la actividad de agua de los sistemas sin goma.

Al realizar un análisis de varianza con un 95% de confianza (Apéndice B) para esta propiedad se observó que la concentración de goma xantana es la única que tiene un efecto estadísticamente significativo en esta propiedad. A pesar de ello la presencia de la goma no disminuye la a_w lo suficiente como para colocar a los sistemas en un rango de humedad intermedia. Siguen estando por encima de 0.850 lo cual sería óptimo para evitar el

crecimiento de algunos patógenos. Por lo tanto es importante considerar otras barreras para asegurar la inocuidad del alimento.

7.2.4 pH

Los valores de pH se mantienen constantes a lo largo del tiempo en un rango entre 3.3 y 3.4 para todos los sistemas (Tabla XVII).

Tabla XV. pH del primer grupo de sistemas elaborados.

	pH	
Sistema	**Semana 0**	**Semana 1**
Testigo	3.4	3.3
0.2 GX	3.3	3.3
0.4 GX	3.4	3.3
0.6 GX	3.4	3.4
0.01 BNa	3.4	3.3
0.05 BNa	3.3	3.4
0.2 GX + 0.01 BNa	3.4	3.4
0.2 GX + 0.05 BNa	3.4	3.4
0.4 GX + .01 BNa	3.4	3.4
0.4 GX + .05 BNa	3.4	3.3
0.6 GX + .01 BNa	3.3	3.3
0.6 GX + 0.05 BNa	3.3	3.4

En el análisis estadístico con un 95% de confianza se muestra que el único factor que tuvo efecto sobre esta propiedad fue la interacción entre la goma y el benzoato. En la Figura 9 se muestra la gráfica de esta interacción.

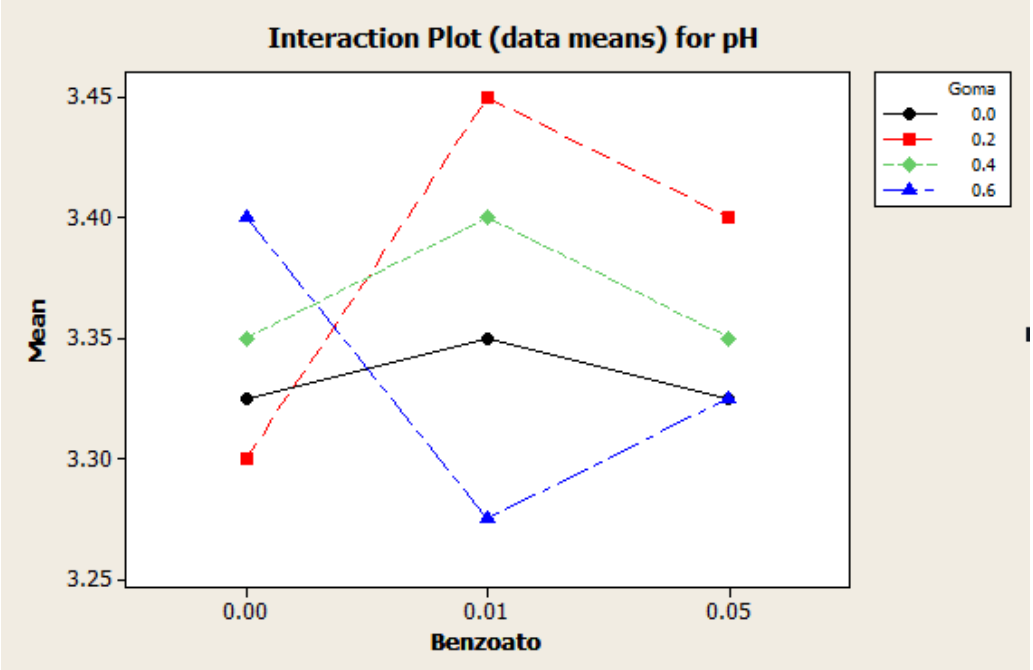


Fig. 7. Efecto de la interacción entre la goma xantana y el benzoato de sodio sobre el pH.

En esta figura se puede observar que los sistemas con 0.6% de goma tienen un comportamiento inverso a los demás ya que en una concentración de 0.6% de goma y 0.01% de benzoato el pH disminuye, para después aumentar hasta igualarse al pH del sistema sin goma y 0.05% de benzoato. Los demás sistemas se comportan de manera inversa. Primero aumenta el pH con 0.01% de benzoato para posteriormente disminuir con 0.05% de benzoato.

La norma mexicana NMX-F-377-1986, para salsa picante envasada, menciona que para salsas picantes el rango de pH debe estar entre 2.8 y 4.0 lo cual ocurre para todos los sistemas.

El pH juega un papel importante en las salsas ya que un pH por debajo de 4.6 inhibe la producción de la toxina producida por *Clostridium botulinum* (Smith y Stratton, 2007). Un pH menor a 4.6 es un buen factor para asegurar una vida larga de anaquel y evitar crecimiento de patógenos.

7.2.5 Color

Los valores de los parámetros L, a, b de la escala de Hunter para el primer grupo de sistemas elaborados se muestran en la Tabla XVIII.

Tabla XVI. Parámetros de color para el primer grupo de sistemas elaborados**.**

	Semana 0			Semana 1			Semana 2		
Sistema	**L**	**a**	**b**	**L**	**a**	**b**	**L**	**a**	**b**
Testigo	23.19	15.06	13.46	25.27	15.86	13.84	23.55	14.15	13.18
0.2 GX	22.74	14.88	13.31	24.45	15.68	13.36	22.88	14.07	12.60
0.4 GX	29.74	15.82	14.52	25.58	16.43	14.49	23.73	14.37	13.19
0.6 GX	25.16	16.13	14.69	28.17	16.79	15.82	26.20	14.92	14.44
0.01 BNa	25.09	15.31	14.34	25.16	15.75	14.34	23.18	14.02	13.03
0.05 BNa	25.54	15.52	14.53	26.75	16.62	15.68	24.01	14.62	13.43
0.2 GX + 0.01 BNa	23.77	15.65	13.57	22.94	14.37	13.03	23.55	14.15	13.18
0.2 GX + 0.05 BNa	24.44	15.55	14.27	23.91	14.61	13.53	22.88	14.07	12.60
0.4 GX + .01 BNa	24.23	15.88	14.10	23.27	14.31	13.16	23.73	14.37	13.19
0.4 GX + .05 BNa	24.83	15.92	14.39	24.24	14.46	13.42	26.20	14.92	14.44
0.6 GX + .01 BNa	26.81	15.89	15.60	26.17	15.24	14.56	23.18	14.02	13.03
0.6 GX + 0.05 BNa	26.06	15.89	15.39	24.90	15.10	13.92	24.01	14.62	13.43

Se determinó si existió un cambio neto de color (ΔE) a través del tiempo por medio de la comparación entre los valores obtenidos en la semana cero. El (ΔE) se muestra en la Tabla XIX.

Tabla XVII. Cambio neto de color (ΔE) del primer grupo de sistemas

	Semana	
Sistema	**1-0**	**2-0**
Testigo	2.26	1.02
0.2 GX	1.89	1.09
0.4 GX	4.20	6.32
0.6 GX	3.28	1.61
0.01 BNa	0.45	2.65
0.05 BNa	2.00	2.09
0.2 GX + 0.01 BNa	1.62	1.57
0.2 GX + 0.05 BNa	1.31	2.72
0.4 GX + .01 BNa	2.06	1.59
0.4 GX + .05 BNa	1.85	1.70
0.6 GX + .01 BNa	1.38	4.83
0.6 GX + 0.05 BNa	2.04	3.11

Se realizó un análisis de varianza al ΔE para analizar si hubo o no cambio significativo en color con respecto al tiempo 0. Se determinó que con un 95% de confianza no hubo cambio estadísticamente significativo para el cambio en color a lo largo del tiempo ya que se obtuvo una $p>0.05$ (Apéndice B).

7.2.6 Separación de fases

La separación de fases se cuantificó con una prueba de estabilidad y se reportó como porcentaje de la suspensión remanente luego de que un volumen conocido de suspensión se centrifugó a 2000 rpm durante 1 minuto. Los resultados se muestran en la Tabla XX.

Tabla XVIII. Estabilidad del primer grupo de sistemas elaborados

	% Estabilidad			
Sistema	**Semana 0**	Desv. Est.	**Semana 1**	Desv.Est.
Testigo	61	± 1.41	61	± 1.41
0.2 GX	93	± 0.71	91	± 1.41
0.4 GX	100	± 0.00	97	± 1.41
0.6 GX	100	± 0.00	100	± 0.00
0.01 BNa	64	± 0.71	64	± 0.00
0.05 BNa	65	± 1.41	63	± 1.41
0.2 GX + 0.01 BNa	95	± 1.41	91	± 1.41
0.2 GX + 0.05 BNa	95	± 1.41	93	± 1.41
0.4 GX + .01 BNa	100	± 0.00	100	± 0.00
0.4 GX + .05 BNa	100	± 0.00	99	± 1.41
0.6 GX + .01 BNa	100	± 0.00	100	± 0.00
0.6 GX + 0.05 BNa	100	± 0.00	100	± 0.00

Estos resultados reflejan que a partir de la adición de goma xantana, la estabilidad de la suspensión aumenta notablemente desde un 61- 65% hasta 91-100% en los sistemas con goma. En la Figura 10 se puede observar el efecto de la goma, benzoato y tiempo.

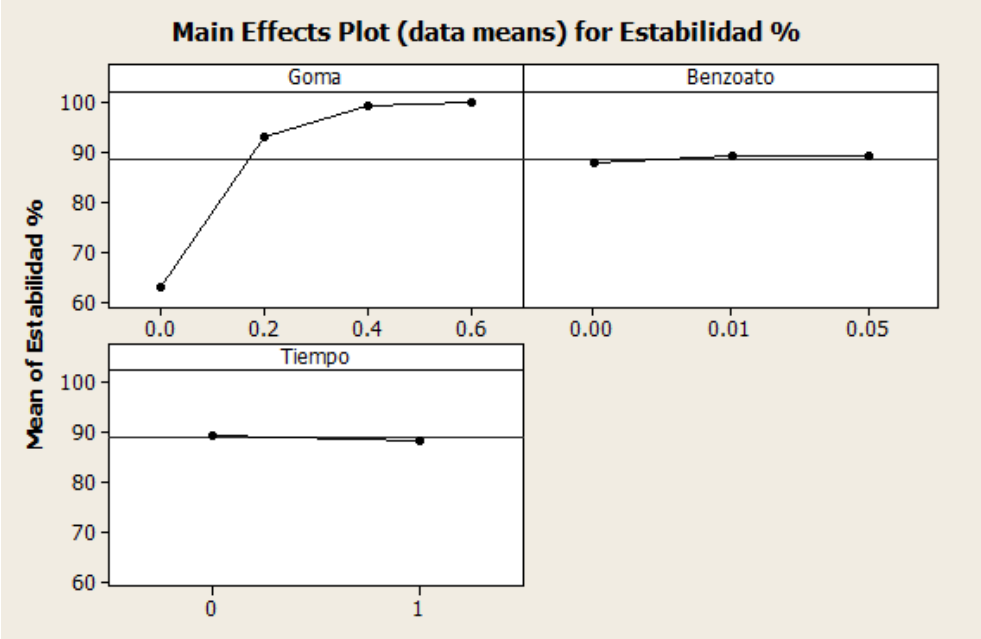


Fig. 8. Efecto de las variables sobre la estabilidad del primer grupo de sistemas elaborado.

En esta Figura 10 es notorio que la goma xantana es el factor que tiene un efecto significativo, con un 95% de confianza, sobre el porcentaje de estabilidad de los sistemas (Apéndice B). Las propiedades reo-adelgazantes y elásticas de la goma xantana permiten generar una red, como si fuera un microgel, evitando la floculación en sistemas coloidales, consecuentemente retardando o evitando la separación de fases por decantación (Taherian *et al*., 2007).

7.2.7 Propiedades de flujo

Los reogramas elaborados para el primer grupo de sistemas se muestran en el Apéndice C . En la Figura 11 y 12 se muestran dos ejemplos de reogramas del primer grupo de sistemas elaborados.

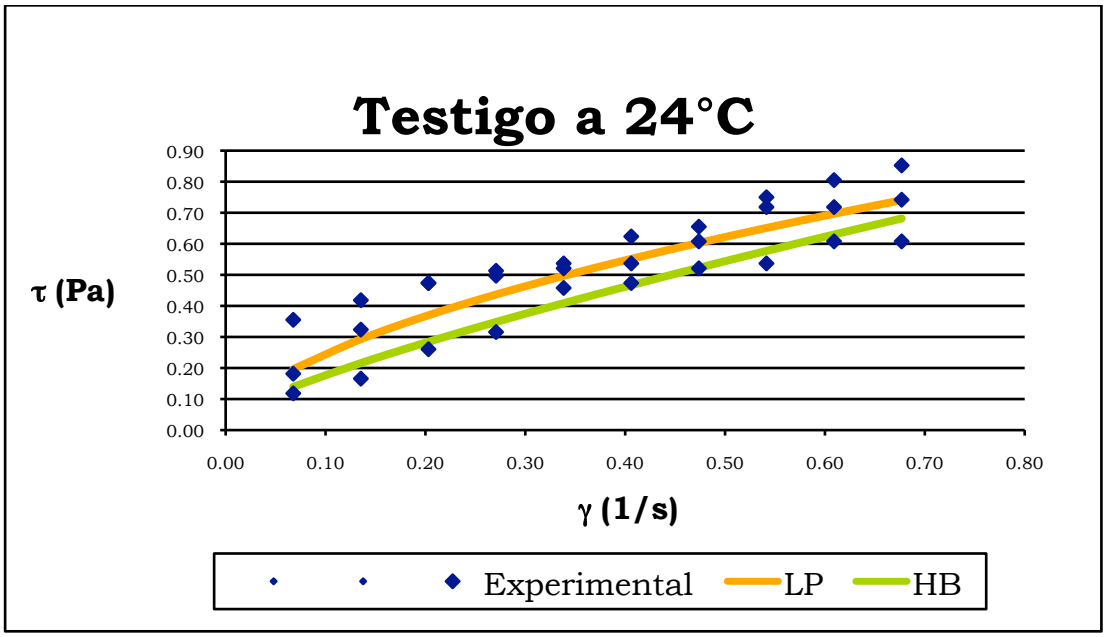


Fig. 9. Reograma del sistema testigo en la semana 0 del primer grupo de sistemas preparados

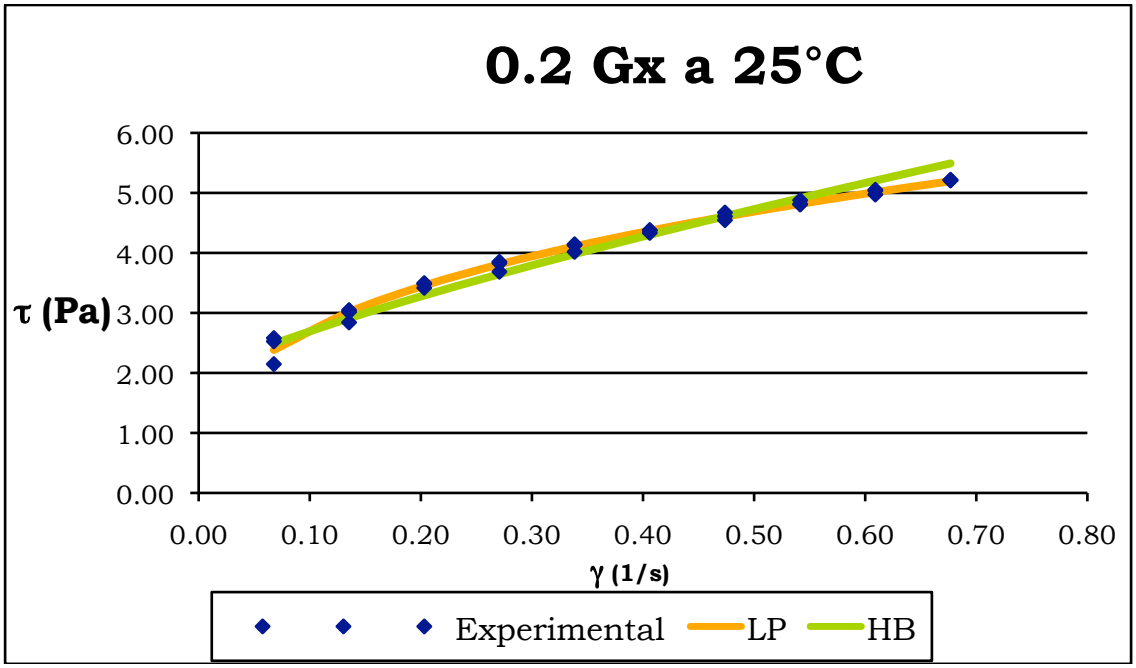


Fig. 10. Reograma del sistema 0.2GX a la semana 0 del primer grupo de sistemas preparados

En la Figura 11 se puede observar que el sistema testigo no sigue un comportamiento Newtoniano, ni tampoco fue ajustado propiamente por alguno de los modelos (Ley de Potencia, Herschel-Bulkley). Se realizaron dos ajustes a los parámetros reológicos (n, K y τ_o), uno con el modelo de LP y otro con el de HB. Posteriormente se evaluó su porcentaje de error relativo medio (PEM) y la raíz cuadrada del error medio (RMSE). Al tener los valores de las pruebas de bondad de ajuste se eligió el modelo que mejor ajustó o el que menor error presentó. Para la Figura 11 (Testigo) tuvo mejor ajuste el modelo LP. Comparando esta figura con la Figura 12, se nota un comportamiento más definido hacia el modelo LP en el caso del sistema con 0.2GX. La adición de goma, como lo estudiaron Sikora *et al.* (2008) resulta en sistemas con comportamiento pseudoplástico (n<1). En todos los sistemas adicionados con goma se observó un comportamiento pseudoplástico debido a la disminución de viscosidad al aumentar la velocidad de corte.

Fueron tres sistemas los que se ajustaron al modelo Herschel-Bulkley (0.6GX, 0.6GX + 0.01BNa y 0.6GX + 0.05BNa), presentando comportamiento plástico pseudoplástico. Todos los demás sistemas elaborados se ajustaron mejor al modelo de Ley de Potencia.

En la Tabla XXI se muestran los sistemas que presentaron comportamiento pseudoplástico (LP) y en la Tabla XXII se muestran los sistemas que presentaron comportamiento plástico pseudoplástico (HB), estos sistemas requieren de un esfuerzo de cedencia cedencia (τ_o) para hacerlas fluir.

Tabla XIX. Modelo de Ley de Potencia del primer grupo de sistemas preparados.

	Ley de Potencia	
Sistema	**K(Pa·s^n)**	***n***
Testigo	0.93 ± 0.05	0.58 ± 0.19
0.2 GX	5.93 ± 0.12	0.34 ± 0.04
0.4 GX	8.53 ± 0.08	0.26 ± 0.04
0.01 BNa	0.22 ± 0.03	0.26 ± 0.25
0.05 BNa	0.25 ± 0.03	0.11 ± 0.08
0.2 GX + 0.01 BNa	2.69 ± 0.05	0.39 ± 0.03
0.2 GX + 0.05 BNa	4.11 ± 0.21	0.36 ± 0.06
0.4 GX + 0.01 BNa	6.64 ± 0.12	0.25 ± 0.04
0.4 GX + 0.05 BNa	7.18 ± 0.16	0.27 ± 0.04

Los valores obtenidos para el coeficiente de consistencia en los sistemas de Ley de Potencia oscilaron entre 0.22 y 8.53 **Pa·s^n** y los valores para el índice de flujo variaron entre 0.11 y 0.58.

Tabla XX. Modelo de Herschel-Bulkley del primer grupo de sistemas elaborados.

	Herschel y Bulkley		
Sistema	**τ_o(Pa)**	**K(Pa·s^n)**	***n***
0.6 GX	4.68 ± 0.15	4.29 ± 0.03	0.85 ± 0.14
0.6 GX + .01 BNa	4.00 ± 0.76	6.22 ± 0.79	0.42 ± 0.04
0.6 GX + 0.05 BNa	4.00 ± 0.16	6.00 ± 0.65	0.42 ± 0.09

Para los sistemas Herschel-Bulkley se obtuvieron valores para τ_o entre 4.0 y 4.68 Pa; para *K* entre 4.29 y 6.22 Pa·s^n y para *n* entre 0.42 y 0.85.

Se realizó un análisis de varianza (Apéndice B) para todos los sistemas con un 95% de confianza. Para el coeficiente de consistencia se determinó que tanto la goma, el benzoato y la interacción de éstos, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre esta propiedad. Los efectos principales y su interacción se muestran en la Figura 13 y 14 respectivamente.

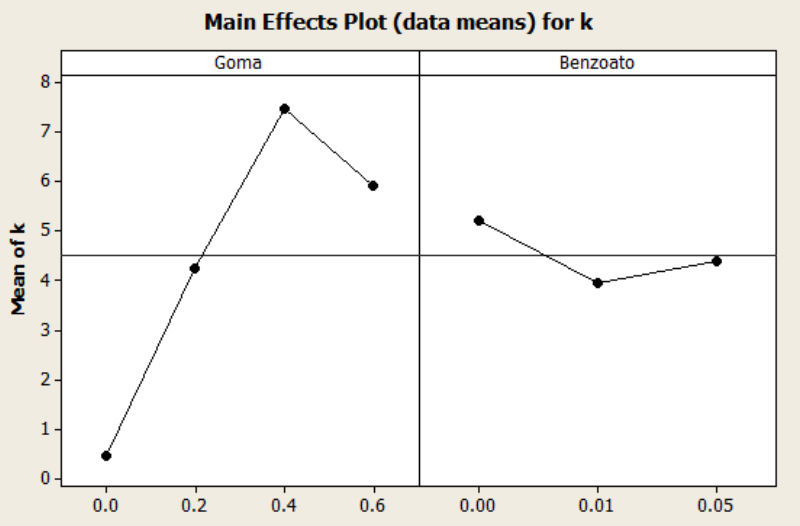


Fig. 11. Efectos principales de la goma y el benzoato sobre el coeficiente de consistencia del primer grupo de sistemas elaborados.

En la Figura 13 se puede ver el mismo efecto observado por Taherian *et al*. (2007) de que la adición de goma xantana en una concentración de 0.3%, a un sistema acuoso, resulta en el aumento del coeficiente de consistencia. Aún así se observa un comportamiento peculiar en el caso de los sistemas con una concentración de goma de 0.6% ya que se presenta una caída en los valores de ésta propiedad.

La interacción entre el benzoato y la goma se muestra en la Figura 14.

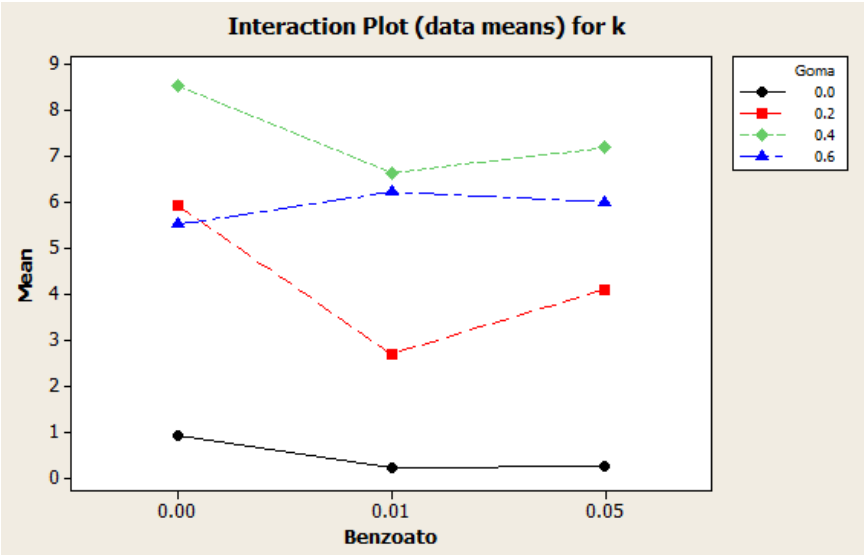


Fig. 12. Efecto de la interacción entre la goma xantana y el benzoato de sodio sobre el coeficiente de consistencia del primer grupo de sistemas elaborados.

En esta figura se puede observar el efecto que tiene la combinación de goma y benzoato. A mayor concentración de goma, mayor coeficiente de consistencia. La presencia de benzoato

disminuye el coeficiente de consistencia a la concentración de 0.01% y después aumenta al incrementar la concentración de benzoato en los sistemas que tienen concentraciones de goma menores a 0.6%. Para los sistemas con ésta concentración de goma se observa un comportamiento prácticamente constante al incrementar la concentración de benzoato. Ocurre lo mismo en los sistemas que no contienen goma.

Al analizar el efecto de las variables de estudio sobre el índice de flujo (*n*) se determinó con un 95% de confianza (Apéndice B) que la concentración de goma y benzoato sí tenían un efecto significativo sobre esta propiedad (Fig. 15), más no la interacción entre ellos.

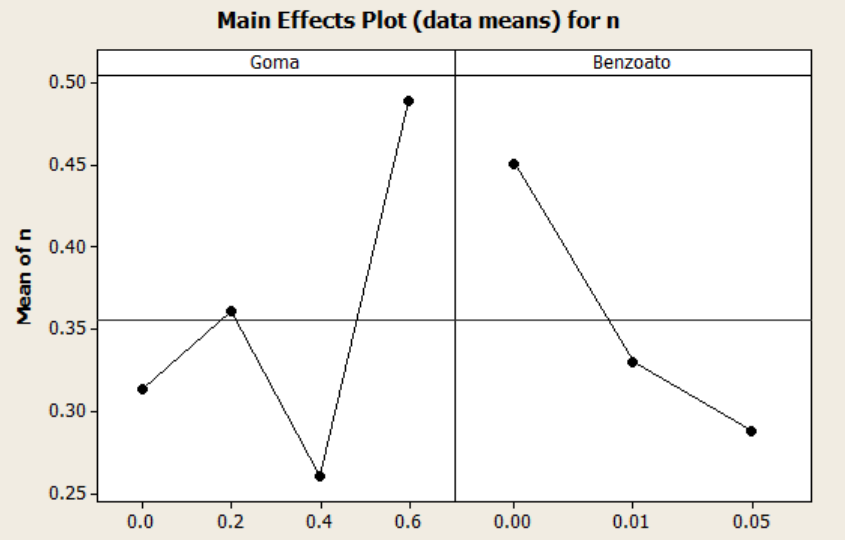


Fig. 13. Efecto de la goma xantana y del benzoato de sodio sobre el índice de flujo en el primer grupo de sistemas elaborados.

En el intervalo de concentraciones de goma xantana entre 0.2 y 0.4% la tendencia es que disminuya *n* como observaron Taherian *et al*. (2007) que a una concentración de goma xantana de 0.3% resultaba en una disminución en el valor del índice de flujo. Ocurre lo contrario en el intervalo de 0.4 a 0.6% de goma. Se ve un aumento notorio en el índice de flujo, de alrededor de 0.26 a 0.48. Con respecto al benzoato se ve un comportamiento que tiende a la disminución de *n* al incrementar su concentración.

A pesar de no haber efecto significativo entre la goma y el benzoato, en la Figura 16 se puede observar un comportamiento peculiar en los sistemas con 0.2 y 0.4% de goma.

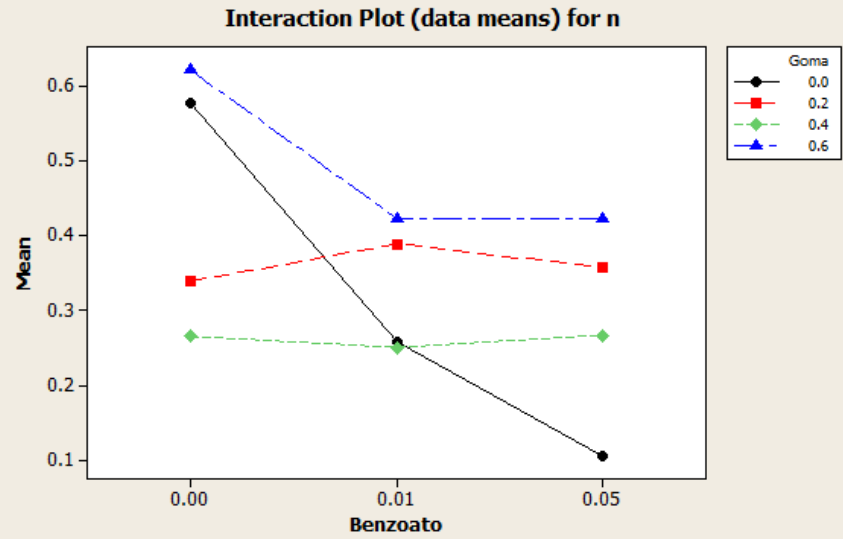


Fig. 14. Efecto de la interacción entre goma xantana y benzoato de sodio sobre el índice de flujo para el primer grupo de sistemas elaborados.

En la Figura 16 se podría hacer una observación, destacando la posible existencia de una interacción entre el benzoato y la goma, la cual provocaría que el sistema mantuviera relativamente constante su valor de índice de flujo en los rangos de 0 a 0.05% de benzoato de sodio y 0.2 a 0.4% de goma.

7.2.8 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó por duplicado al tiempo cero. Se cuantificaron mesófilos aerobios y mohos y levaduras como unidades formadoras de colonias (UFC) por mL de salsa.

En la Tabla XXIII se muestran los resultados obtenidos para la prueba de mesófilos aerobios del primer grupo de sistemas elaborados.

Tabla XXI. Resultados para la prueba de mesófilos aerobios para el primer grupo de sistemas elaborados.

BMA					
	Dilución	**Cuenta en caja**	**UFC/mL**		Log (UFC/mL)
Testigo	(-4)	6 10	4,480,000	*	6.65
0.2 GX	(-3)	7 3	280,000	*	5.45
0.4 GX	(-3)	29 38	1,876,000	*	6.27
0.6 GX	(-3)	33 32	1,820,000	*	6.26
0.01 BNa	(-3)	11 14	700,000	*	5.85
0.05 BNa	(-3)	39 41	2,240,000	*	6.35
0.2 GX + 0.01 BNa	(-3)	31 53	2,352,000	*	6.37
0.2 GX + 0.05 BNa	(-3)	50 42	2,576,000	*	6.41
0.4 GX + .01 BNa	(-3)	33 39	2,016,000	*	6.30
0.4 GX + .05 BNa	(-3)	23 18	1,148,000	*	6.06
0.6 GX + .01 BNa	(-3)	39 30	1,932,000	*	6.29
0.6 GX + 0.05 BNa	(-3)	52 40	2,576,000	*	6.41

* Valores estimados

La NOM-093-SSA1-1994 establece los límites microbiológicos básicos permisibles para salsas, y éstas se encuentran en un límite máximo de 5,000 UFC/mL (log 3.69) para bacterias mesófilas aerobias. Por lo tanto todo el primer grupo de sistemas elaborados presentaron una carga de mesófilos aerobios demasiado elevada. En la Figura 17 se muestra una gráfica de los sistemas contra el logaritmo de las unidades formadoras de colonias por mililitro de salsa.

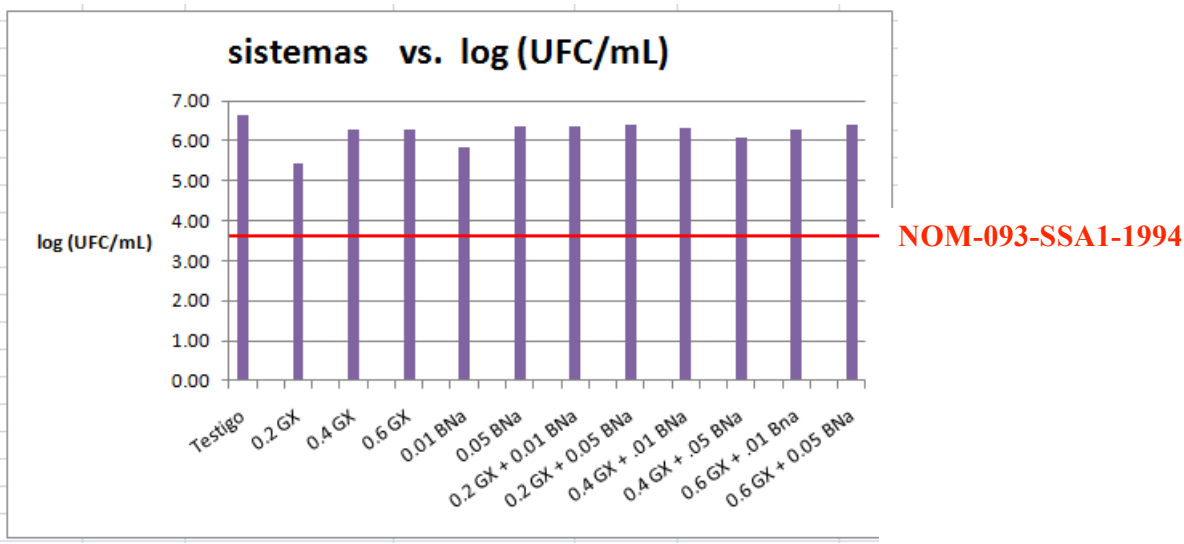


Fig. 15. Gráfica del primer grupo de sistemas elaborados vs. el logarit

La línea roja indica el logaritmo del límite permitido por la NOM-093-SSA1-1994 que sería 3.7 [log(5000)]. Los sistemas elaborados se encuentran entre 1.75 y 2.95 ciclos logarítmicos por encima del máximo permitido por la norma.

Esta cuenta tan elevada para bacterias mesófilas aerobias muestra que no se tuvo un buen manejo de la materia prima ya que al elaborar la salsa se siguieron con BPM establecidas para salsas y aderezos (Smith y Stratton, 2007). El chile en polvo y las especias fueron compradas en un mercado local las cuales estaban en costales los cuales se encontraban en el suelo y no se contaba con un manejo apropiado e higiénico para material, por lo que se concluye que la materia prima venía contaminada desde la compra.

En cuanto a mohos y levaduras no se reportaron UFC/mL de salsa para ninguno de los sistemas elaborados.

7.3 CARACTERIZACIÓN DEL SEGUNDO GRUPO DE SISTEMAS

Se realizaron análisis exploratorios sobre sistemas elaborados con distintos niveles de goma xantana (0.0, 0.2, 0.4 y 0.6%) y de benzoato de sodio (0.0, 0.01 y 0.05%) y sus combinaciones. Se realizaron análisis estadísticos sobre los resultados obtenidos y se

replantearon los niveles y variables de estudio. En la Tabla XXIV se muestran los sistemas con sus variables y niveles.

Tabla XXII. Características del segundo grupo de sistemas elaborados.

Sistema	Goma Xantana (%P/P)	Benzoato de sodio (%P/P)	Temperatura de almacenamiento	Tratamiento
A_0	0.4	0.05	Ambiente	No
B_0	0.4	0.1	Ambiente	No
C_0	0.4	0.05	45°C	No
D_0	0.4	0.1	45°C	No
A_1	0.4	0.05	Ambiente	Sí
B_1	0.4	0.1	Ambiente	Sí
C_1	0.4	0.05	45°C	Sí
D_1	0.4	0.1	45°C	Sí

A los sistemas con subíndice 0 no se le aplicó ningún tratamiento a la materia prima (chile y especias) para lograr observar el efecto del almacenamiento sobre sus propiedades fisicoquímicas, de flujo y microbiológicas. Los sistemas con subíndice 1 fueron sometidos a un tratamiento con la intención de reducir la carga microbiológica inicial. El tratamiento se realizó en la empresa *Procesadora Verduzco* S.A. de C.V. por medio de una mezcla de óxido de etileno y CO_2 en una proporción 30-70% en peso. El gas fue inyectado a una temperatura promedio de 30°C ya que es a la temperatura que tiene mayor efecto el gas sobre los microorganismos. Todas las especias junto con el chile se colocaron dentro de la cámara de sanitización en sus respectivas bolsas abiertas. El gas se inyecta a la cámara y solamente se deja en contacto con los productos dentro de la cámara durante 24 horas.

Debido a las condiciones de almacenamiento de los sistemas, la temperatura ambiente varió entre 20 y 26°C. Mientras que la temperatura de almacenamiento de 45°C se mantuvo constante en una incubadora. Estos sistemas fueron almacenados durante 4 semanas y se realizaron mediciones cada 7 días para evaluar el efecto del almacenamiento sobre sus propiedades fisicoquímicas, de flujo y microbiológicas.

7.3.1 Densidad

Los valores obtenidos para el segundo grupo de sistemas elaborados se presentan en la Tabla XXV. La densidad para los sistemas varió entre 1028.72 y 1035.70 kg/m^3 y se mantuvo constante a través del tiempo.

Tabla XXIII. Densidad del segundo grupo de sistemas elaborados.

Sistema	Densidad (kg/m^3)	Desv. Est.
A_0	1034.83	± 5.02
B_0	1028.84	± 1.90
A_1	1035.70	± 4.40
B_1	1028.72	± 2.47

Los valores presentados en la Tabla XXV son muy similares a los obtenidos para las marcas comerciales Tampico y Valentina (1038.59 y 1048.13 kg/m^3 respectivamente).

7.3.2 Humedad

Los valores de humedad obtenidos para el segundo grupo de sistemas se muestra en la Tabla XXVI y variaron entre 87.67 y 89.15% los cuales fueron similares a los valores obtenidos para el primer grupo de sistemas (82 y 92%) y se mantuvieron constantes a lo largo del tiempo.

Tabla XXIV. Humedad del segundo grupo de sistemas elaborados.

Sistema	% Humedad	Desv. Est.
A_0	87.67	± 0.49
B_0	88.46	± 0.08
A_1	88.67	± 0.16
B_1	89.15	± 0.28

7.3.3 Actividad de agua

Se realizó un análisis de varianza al primer grupo de sistemas elaborados, con un 95% de confianza (Apéndice B), para esta propiedad. Con él se determinó que la concentración de goma xantana es el único factor que tiene un efecto estadísticamente significativo en esta propiedad. En este segundo grupo de sistemas se mantuvo constante el nivel de goma. En la

Tabla XXVII se muestran los valores obtenidos para la actividad de agua del segundo grupo de sistemas elaborados.

Tabla XXV. Actividad de agua del segundo grupo de sistemas elaborados**.**

Sistema	a_w
A_0	0.981
B_0	0.981
C_0	0.978
D_0	0.978
A_1	0.985
B_1	0.990
C_1	0.992
D_1	0.992

Los valores de actividad de agua para el segundo grupo de sistemas variaron entre 0.978 y 0.992, valores muy similares a los obtenidos para el primer grupo de sistemas elaborados (0.977 - 0.998).

7.3.4 Acidez

El porcentaje de acidez del segundo grupo de sistemas elaborados se reportó como porcentaje de ácido acético considerando éste como el ácido mayoritario. En la Tabla XXVIII se muestran los valores obtenidos.

Tabla XXVI. Acidez del segundo grupo de sistemas elaborados.

	% Acidez									
Sistema	Semana 0	% Desv. Est.	Semana 1	% Desv. Est.	Semana 2	% Desv. Est.	Semana 3	% Desv. Est.	Semana 4	% Desv. Est.
A_0	1.88	3.4%	1.69	0.0%	1.72	1.7%	1.60	2.5%	1.78	4.2%
B_0	1.89	3.4%	1.69	2.5%	1.82	1.7%	1.72	0.8%	1.85	4.2%
C_0	1.88	3.4%	1.64	0.0%	1.61	4.2%	1.72	14.4%	1.78	5.9%
D_0	1.89	3.4%	1.69	2.5%	1.63	4.2%	1.88	11.9%	1.87	5.9%
A_1	1.92	3.4%	1.93	0.0%	1.99	1.7%	2.66	2.5%	2.01	4.2%
B_1	1.94	3.4%	1.90	2.5%	1.91	1.7%	2.54	0.8%	1.89	4.2%
C_1	1.92	3.4%	1.93	0.0%	2.01	4.2%	2.73	14.4%	1.88	5.9%
D_1	1.94	3.4%	1.90	2.5%	2.27	4.2%	2.44	11.9%	1.96	5.9%

Al realizar un análisis de varianza con el 95% de confianza (Apéndice B) se pudo determinar que los factores que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la

acidez de los sistemas fueron el tiempo de almacenamiento y el tratamiento con óxido de etileno. En la Figura 18 se puede observar el efecto del tiempo de almacenamiento y el tratamiento sobre la acidez.

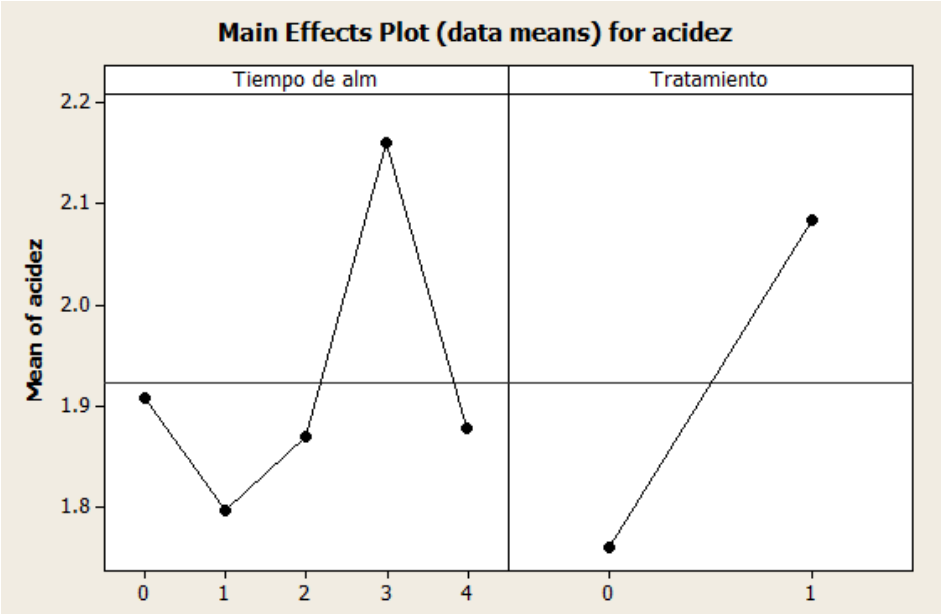


Fig. 16. Efecto del tiempo de almacenamiento y tratamiento sobre la acidez del segundo grupo de sistemas elaborados.

En la tercera semana de almacenamiento existe un dato extraño ya que se presenta un pico. Esto pudo haber ocurrido a que el potenciómetro que se estaba utilizando tuvo fallas al realizar la calibración. Aún así la tendencia de los sistemas en la primera semana es una disminución en el porcentaje de acidez. Al final del almacenamiento se tiene un porcentaje de acidez muy cercano al obtenido en la semana cero. Se notó una diferencia significativa con respecto al porcentaje de acidez para los sistemas que fueron sometidos al tratamiento con óxido de etileno, siendo éste mayor para los sistemas con tratamiento (A_1,B_1,C_1,D_1) los cuales oscilaron entre 1.88 y 2.73% a diferencia de los sistemas que no recibieron tratamiento (A_0,B_0,C_0,D_0) cuyos valores fueron entre 1.60 y 1.89%.

Se considera que los niveles máximos de uso para el ácido acético son del 3% en aderezos y ensaladas (Doores, 2002) por lo tanto el segundo grupo de sistemas se encuentra dentro del rango establecido para éste ácido.

7.3.5 pH

Los valores de pH oscilaron entre 3.11 y 3.52 (Tabla XXIX).

Tabla XXVII. pH del segundo grupo de sistemas elaborados.

pH										
Sistema	**Sem 0**	D. Est.	**Sem 1**	D. Est.	**Sem 2**	D. Est.	**Sem 3**	D. Est.	**Sem 4**	D. Est.
A_0	3.38	± 0.04	3.32	± 0.02	3.39	± 0.01	3.13	± 0.04	3.14	± 0.01
B_0	3.42	± 0.03	3.39	± 0.01	3.40	± 0.00	3.19	± 0.01	3.11	± 0.01
C_0	3.38	± 0.04	3.38	± 0.03	3.37	± 0.02	3.15	± 0.00	3.11	± 0.01
D_0	3.42	± 0.03	3.37	± 0.03	3.38	± 0.04	3.20	± 0.00	3.11	± 0.01
A_1	3.22	± 0.03	3.42	± 0.02	3.39	± 0.01	3.31	± 0.02	3.18	± 0.04
B_1	3.28	± 0.03	3.48	± 0.03	3.49	± 0.01	3.38	± 0.01	3.32	± 0.03
C_1	3.22	± 0.03	3.46	± 0.01	3.48	± 0.04	3.30	± 0.03	3.24	± 0.05
D_1	3.28	± 0.03	3.52	± 0.02	3.48	± 0.04	3.36	± 0.02	3.36	± 0.08

Se realizó un análisis de varianza para esta propiedad con un 95% de confianza (Apéndice B) y se determinó que los factores que afectan de manera significativa al pH fueron la concentración de benzoato de sodio, el tiempo de almacenamiento y el tratamiento. Esto se puede observar en la Figura 19.

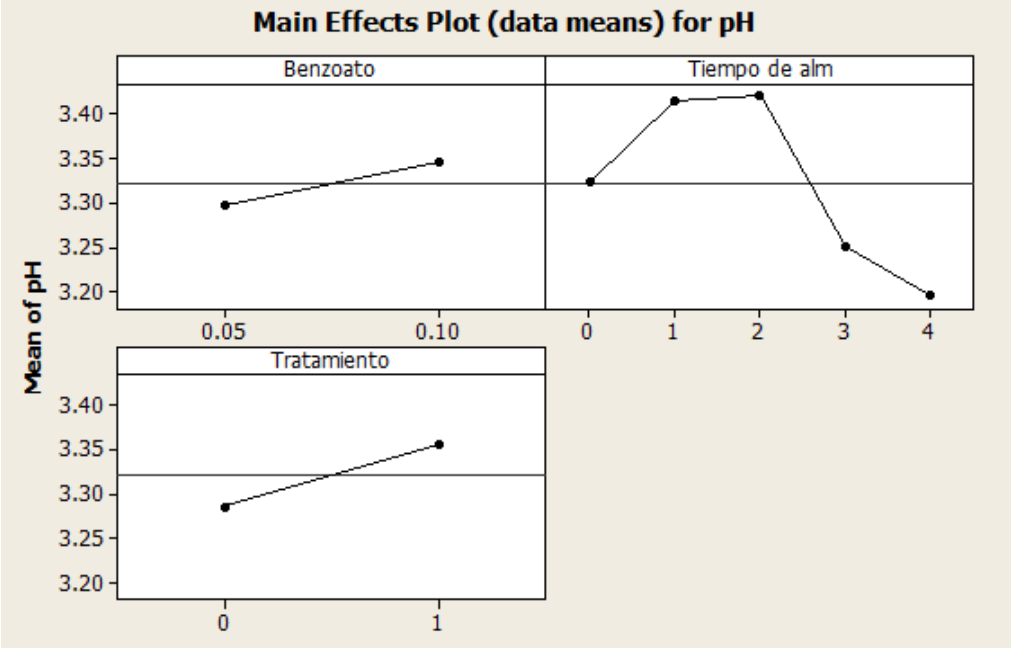


Fig. 17. Efecto del benzoato de sodio, tiempo de almacenamiento y tratamiento sobre el pH sobre el segundo grupo de sistemas elaborados.

Tanto la concentración del benzoato como el tiempo de almacenamiento provocan un incremento en el pH de los sistemas. A pesar de tener un efecto significativo sobre el pH

tanto el benzoato como el tratamiento, el incremento que provocan sobre el pH es mínimo. Va de 3.3 a 3.35 para el caso de benzoato y de 3.27 a 3.35. En la norma mexicana NMX-F-377-1986, se establece un pH entre 2.8 y 4.0 para salsa picante envasada. Por lo tanto, a pesar del incremento en pH generado por el benzoato y el tratamiento, se sigue manteniendo el rango establecido por la norma.

En cuanto al tiempo de almacenamiento el pH aumenta entre la semana 0 y 1 y se mantiene relativamente constante entre la semana 1 y 2. Entre la semana 2 y 4 ocurre un descenso en pH. García *et al*. (2006) realizaron estudios sobre la fermentación de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). En este estudio se mantuvo un pH de entre 3.51 a 4.34 durante todo el tiempo de fermentación y se observó que durante las primeras semanas de fermentación se mantenía un pH casi constante, pero al final de la fermentación el pH decrecía hasta 3.51. Determinaron que el descenso en pH se debía al crecimiento de bacterias ácido lácticas y su producción de ácido láctico. En el análisis microbiológico de este segundo grupo de sistemas se observaron cargas muy elevadas de mesófilos aerobios. No se determinaron el tipo de bacterias presentes en los sistemas, pero éste descenso en pH podría indicar la presencia de bacterias ácido lácticas, típicamente anaerobias, que pudieran crecer en condiciones aeróbicas (anaerobios aerotolerantes). A pesar del descenso se sigue satisfaciendo la especificación de la norma.

7.3.6 Color

Se determinaron los parámetros L, a, b en la escala de Hunter para el segundo grupo de sistemas elaborados(Tabla XXX) y se les determinó el cambio de color con respecto a la semana 0 (Tabla XXXI).

Tabla XXVIII. Parámetros de color del segundo grupo de sistemas elaborados.

Sistema	Parámetro	Semana 0	1	2	3	4
A_0	L	27.95	26.68	24.46	25.37	26.65
	a	17.00	16.47	15.62	15.52	16.31
	b	15.95	15.50	13.58	14.52	15.20
B_0	L	27.25	25.95	24.85	24.83	25.44
	a	17.12	16.43	15.70	15.35	15.93
	b	15.59	15.00	13.89	14.17	14.53
C_0	L	27.95	25.59	23.04	25.46	23.75
	a	17.00	15.74	13.65	15.01	13.19
	b	15.95	14.59	13.04	14.88	13.41
D_0	L	27.25	25.04	23.51	22.73	23.15
	a	17.12	15.74	14.05	13.01	13.31
	b	15.59	14.59	13.33	13.05	13.13
A_1	L	26.93	24.45	24.46	25.37	23.49
	a	16.44	15.49	15.62	15.52	14.36
	b	15.58	13.85	13.58	14.52	13.76
B_1	L	30.52	25.25	24.85	24.83	23.74
	a	16.62	15.69	15.70	15.35	14.82
	b	15.79	14.41	13.89	14.17	13.96
C_1	L	26.93	23.49	23.04	25.46	20.98
	a	16.44	13.99	13.65	15.01	11.40
	b	15.58	13.53	13.04	14.88	12.91
D_1	L	30.52	24.59	23.51	22.73	22.09
	a	16.62	14.44	14.05	13.01	12.23
	b	15.79	14.17	13.33	13.05	13.46

Se determinó si existió un cambio neto de color (ΔE) a través del tiempo por medio de la comparación entre los valores obtenidos en la semana cero. El (ΔE) se muestra en la Tabla XXXI.

Tabla XXIX. Cambio neto de color del segundo grupo de sistemas elaborados.

Sistema	Semana 1-0	2-0	3-0	4-0
A_0	1.45	4.44	3.30	1.65
B_0	1.58	3.27	3.32	2.41
C_0	3.00	6.61	3.36	6.21
D_0	2.79	5.34	6.62	6.11
A_1	3.18	3.29	2.10	4.42
B_1	5.52	6.05	6.05	7.25

C_1	4.70	5.42	2.17	8.24
D_1	6.52	7.86	9.01	9.78

Se realizó un análisis de varianza con 95% de confianza (Apéndice B) para determinar si hubo efectos estadísticamente significativos sobre el cambio neto de color por parte del tiempo de almacenamiento y la temperatura a la que fueron almacenados este segundo grupo de sistemas elaborados.

Se determinó que el factor que tenía un efecto significativo sobre el cambio de color fue la temperatura de almacenamiento. En la Figura 20 se puede observar el efecto de éste factor sobre el cambio neto de color.

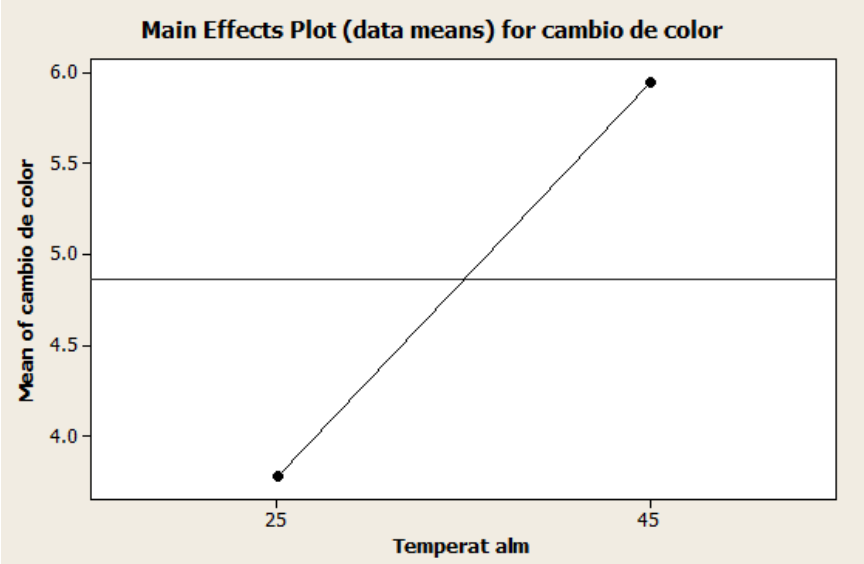


Fig. 18. Efecto de la temperatura sobre el cambio neto de color del segundo grupo de sistemas elaborados.

En el chile (*Capsicum annuum*) el pigmento que más abunda son los carotenoides y dentro de los carotenoides la capsantina es la que se encuentra en mayor porcentaje, en un 60%. Rodríguez (1999) estudió la inestabilidad de los carotenoides. Señaló que ésta se debe al hecho de que son compuestos altamente insaturados, y se degradan fundamentalmente debido a procesos oxidativos junto con factores como la temperatura. Estos factores pueden producir importantes cambios en los carotenoides debido a reacciones de isomerización (*cis-trans*). La temperatura afecta en la estabilidad de los pigmentos ya que la temperatura

actúa como acelerador de la reacción de degradación provocando un pardeamiento en la coloración del alimento. Como se puede observar en la Figura 19, un incremento en temperatura de almacenamiento ocasiona un mayor cambio neto de color en los sistemas.

En cuanto al tratamiento, en la Tabla XXXI, se puede observar que los valores de ΔE para los sistemas que recibieron un tratamiento son mayores (2.10 a 9.78) en comparación con los que no recibieron tratamiento (1.45 a 6.62). Como se mencionó anteriormente, los procesos oxidativos son un factor importante en la degradación de carotenoides. El tratamiento que se le dio al chile en polvo fue con óxido de etileno y CO_2. Rodríguez (1999) observó que el grado de decoloración en los carotenoides depende fundamentalmente de la presencia de agentes oxidantes, principalmente oxígeno molecular. Esta mezcla de gases, provoca una oxidación sobre los carotenoides del chile en polvo. El mecanismo de oxidación de los carotenoides, implican reacciones de epoxidación, formación de apocarotenoides (carotenoides de menos de 40 átomos de carbono) e hidroxilación, obteniéndose finalmente compuestos de bajo peso molecular, generando una pérdida de color (Henry *et al*., 2000).

7.3.7 Separación de fases

Como se observó en el primer grupo de sistemas elaborados, la concentración de goma xantana fue el único factor que afectó significativamente la estabilidad de los sistemas. El nivel de goma de 0.4% presentó una estabilidad mayor al 95%. La estabilidad del segundo grupo de sistemas a lo largo de las cuatro semanas de almacenamiento se presenta en la Tabla XXXII.

Tabla XXX. Estabilidad del segundo grupo de sistemas elaborados.

	Estabilidad				
Sistema	**Semana 0**	**Semana 1**	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 4**
A_0	100%	98%	100%	99%	99%
B_0	100%	99%	99%	99%	100%

C_0	100%	100%	100%	98%	99%
D_0	100%	100%	100%	100%	100%
A_1	100%	98%	100%	97%	96%
B_1	100%	99%	100%	99%	100%
C_1	100%	100%	100%	100%	98%
D_1	100%	100%	98%	100%	100%

Al realizar un análisis de varianza con un 95% de confianza (Apéndice B), se determinó que para una concentración de 0.4% de goma xantana no hay ningún factor (concentración de benzoato, tratamiento, tiempo y temperatura de almacenamiento) que afecte significativamente la estabilidad de los sistemas. Lo que indica que con éste nivel de goma y las dos variaciones de benzoato (0.05 y 0.1%) se mantiene una estabilidad por arriba del 96% a lo largo de cuatro semanas de almacenamiento tanto a temperatura ambiente como a 45°C.

7.3.8 Propiedades de flujo

Este segundo grupo de sistemas elaborados presentaron un comportamiento pseudoplástico al igual que todos los sistemas del primer grupo elaborados con 0.4% de goma xantana. Los reogramas elaborados para el segundo grupo de sistemas se muestran en el Apéndice C. Un ejemplo de estos reogramas se muestra en la Figura 21.

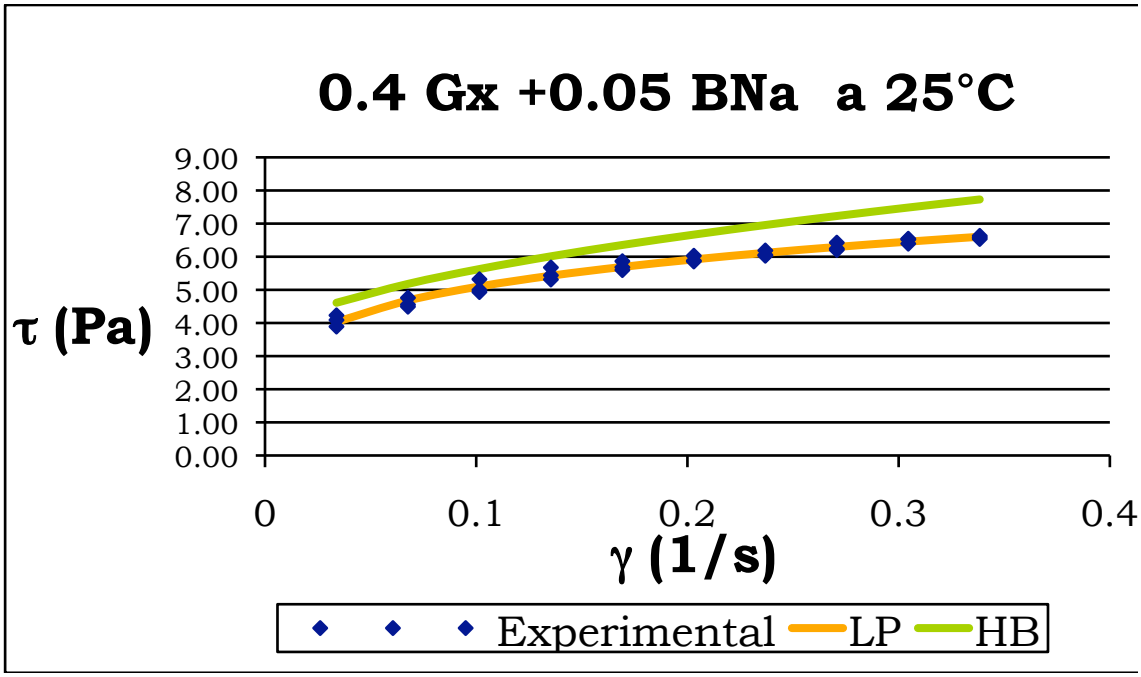


Fig. 19. Reograma del sistema 0.4 Gx y 0.05 BNa, sin tratamiento, almacenado a temperatura ambiente en la tercera semana de almacenamiento.

Al realizar los ajustes a los parámetros reológicos (*n* y *K*) y evaluar su porcentaje de error relativo medio (PEM) y la raíz cuadrada del error medio (RMSE) se determinó que el modelo de Ley de Potencia era el que menor error presentó para este segundo grupo de sistemas elaborados. Por lo tanto no fue necesario un esfuerzo de cedencia para hacer fluir a estos sistemas. En la Tabla XXXIII se muestran los valores obtenidos para el coeficiente de consistencia y el índice de flujo.

Tabla XXXI. Modelo de Ley de Potencia del segundo grupo de sistemas elaborados.

Ley de Potencia						
Sistema		**Semana 0**	**Semana 1**	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 4**
A_0	$K(Pa \cdot s^n)$	9.6001	9.3775	8.4574	8.3278	9.1227
	n	0.2569	0.2056	0.1987	0.2142	0.2402
B_0	$K(Pa \cdot s^n)$	9.8289	9.5691	9.0442	8.9693	8.7936
	n	0.2470	0.2250	0.2288	0.2507	0.2211
C_0	$K(Pa \cdot s^n)$	9.6001	9.0420	8.9680	8.6959	8.6093
	n	0.2569	0.2134	0.2187	0.2361	0.2162

D_0	$K(Pa \cdot s^n)$	9.8289	9.7864	8.9652	8.7601	8.7395
	n	0.2470	0.2591	0.2308	0.2285	0.2305
A_1	$K(Pa \cdot s^n)$	10.549	9.1981	8.9689	8.7875	8.9980
	n	0.2499	0.2185	0.2010	0.2023	0.2301
B_1	$K(Pa \cdot s^n)$	8.9854	8.1642	8.2879	8.0785	8.7390
	n	0.2354	0.2384	0.2261	0.2233	0.2154
C_1	$K(Pa \cdot s^n)$	10.549	9.2875	9.3588	8.6485	8.5944
	n	0.2499	0.2477	0.2251	0.2188	0.2139
D_1	$K(Pa \cdot s^n)$	8.9854	9.0054	8.7421	8.5693	8.7469
	n	0.2354	0.2810	0.2273	0.2391	0.2297

Al hacer un análisis factorial de los datos mostrados en la Tabla XXVIII, se determinó que con un 95% de confianza (Apéndice B), para el coeficiente de consistencia, los factores de concentración de benzoato y el tiempo de almacenamiento tienen un efecto significativo sobre ésta propiedad (Figura 22).

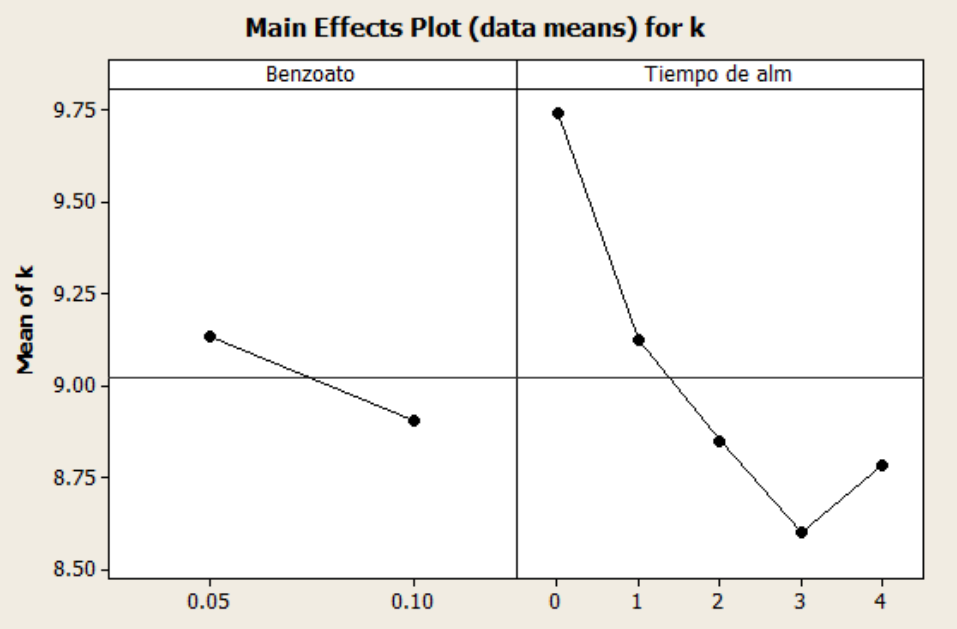


Fig. 20. Efecto de la concentración de benzoato y del tiempo de almacenamiento sobre el coeficiente de consistencia del segundo grupo de sistemas elaborados.

En ésta figura se puede observar que al aumentar la concentración de benzoato el coeficiente de consistencia disminuye. Los valores de K variaron entre 8.08 y 10.55 $Pa \cdot s^n$ valores un poco más elevados a los del primer grupo de sistemas con concentraciones de

0.4% de goma xantana (6.64 y 8.53 $Pa \cdot s^n$) debido a que la concentración de benzoato de sodio tiene un efecto significativo sobre esta propiedad. Los valores obtenidos para el primer grupo de sistemas elaborados con concentraciones de 0.4% de goma xantana los cuales variaron entre 6.64 y 8.53 $Pa \cdot s^n$. Mandala *et al*. (2004) estudiaron el efecto de la presencia de NaCl en una concentración de 0.1M, sobre soluciones con goma xantana (3% en peso). Observaron que el arreglo de las cadenas de goma es distinto en presencia de NaCl. El cloruro de sodio es una sal monovalente al igual que el benzoato de sodio. Debido a su carga, estas dos sales se podrían comportar de manera similar frente a la goma. En presencia de la sal la solución con goma xantana tendría un arreglo más desordenado de sus cadenas que en ausencia de la sal afectando directamente a las propiedades reológicas del sistema, disminuyendo su viscosidad.

El tiempo de almacenamiento también tiene un efecto significativo sobre el coeficiente de consistencia debido a que la red tridimensional que genera la goma xantana se va perdiendo con el tiempo (Sikora *et al*., 2008). La disminución del coeficiente de consistencia conlleva a una disminución en la viscosidad. Esto comprueba el comportamiento tixotrópico observado por Sikora *et al*. (2008). Esto significa que la viscosidad aparente, de soluciones con goma xantana, disminuye al paso del tiempo a una velocidad de corte constante.

En cuanto al índice de flujo, el único factor que tiene efecto estadísticamente significativo (Apéndice B) es el tiempo de almacenamiento (Figura 23).

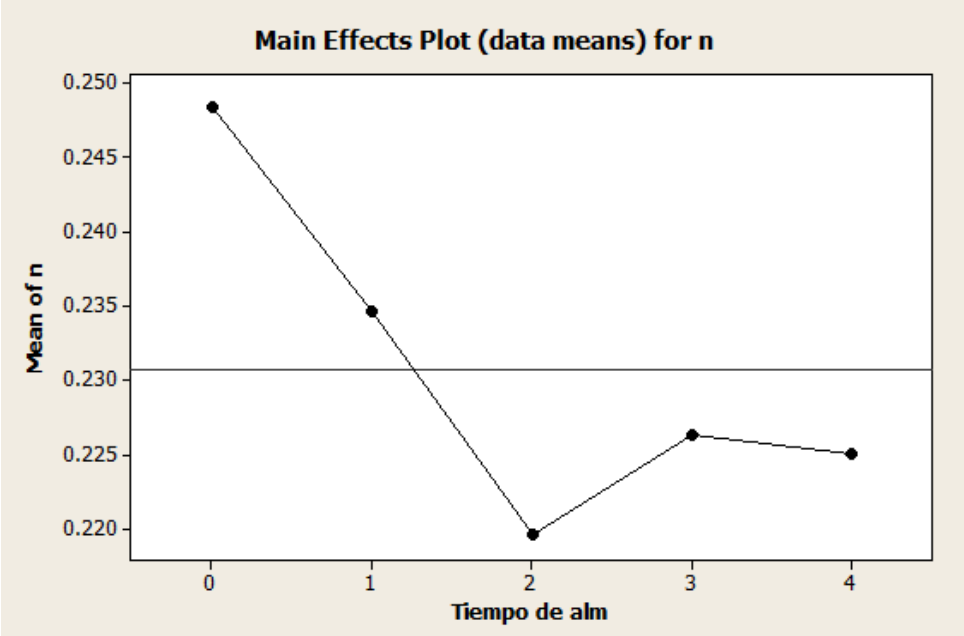


Fig. 21. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre el índice de flujo del segundo grupo de sistemas elaborados.

Como se puede observar en esta figura, al paso del tiempo el índice de flujo disminuye, al igual que el coeficiente de consistencia, consecuentemente disminuye la viscosidad de los sistemas.

7.3.9 Análisis microbiológico

Debido a la cuenta tan elevada de bacterias mesófilas aerobias en el primer grupo de sistemas se decidió aumentar la concentración de benzoato de sodio de 0.01 y 0.05 para el primer grupo de sistemas, a 0.05 y 0.1% que es la máxima concentración permitida para el benzoato de sodio (Davidson *et al.,* 2002) y se decidió darle un tratamiento con óxido de etileno y CO_2 al chile en polvo y a las especias para ver si había un efecto significativo sobre la cuenta microbiana.

En ninguno de los sistemas hubo UFC/mL por parte de mohos y levaduras a lo largo del tiempo de almacenamiento.

En la Tabla XXXIV se muestra el conteo de bacterias mesófilas aerobias para el segundo grupo de sistemas elaborados.

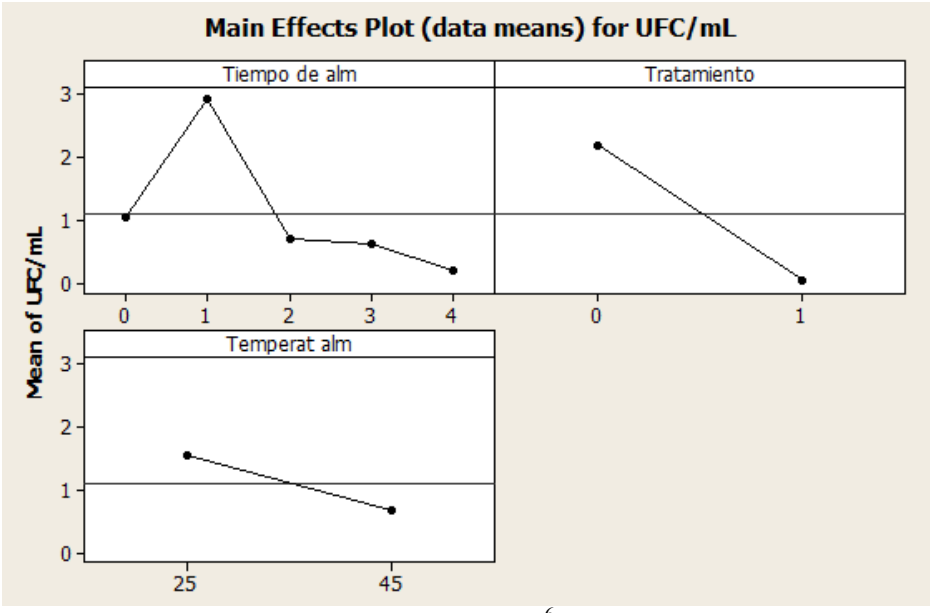
Tabla XXXII. Conteo de bacterias mesófilas aerobias para el segundo grupo de sistemas elaborados.

ma	Semana 0	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4

UFC/mL	Log	UFC/mL	Log	UFC/mL	Log	UFC/mL	Log	UFC/mL	Log
1,814,400	6.3	7,700,000	6.9	2,912,000	6.5	3,145,240	6.5	1,680,000	6.2
2,195,200	6.3	7,000,000	6.8	1,960,000	6.3	1,960,000	6.3	21,168	4.3
1,814,400	6.3	3,360,000	6.5	756,000	5.9	13,500	4.1	8,000	3.9
2,195,200	6.3	5,040,000	6.7	28,000	4.4	500	2.7	1	0.0
80,500	4.9	240,000	5.4	205	2.3	120	2.1	90	2.0
83,000	4.9	160,000	5.2	160	2.2	85	1.9	55	1.7
80,500	4.9	25,000	4.4	5	0.7	0	-	0	-
83,000	4.9	0	-	0	0.0	0	-	0	-

Al igual que en el primer grupo de sistemas la cuenta de BMA estuvo por arriba de la norma (>5000 UFC/mL) hasta la segunda semana de almacenamiento. Como se puede observar en esta Tabla XXXIV, hubo una reducción logarítmica de 1.4 para los sistemas que recibieron un tratamiento a la semana 0 de almacenamiento. Hasta la semana 3 de almacenamiento los sistemas que se mantuvieron a temperatura ambiente y sin tratamiento mantuvieron una cuenta logarítmica entre 6.9 y 6.3. Para el sistema B_0, entre la semana 3 y 4 se observó una diferencia logarítmica de 2.0. Esto indica que a mayor concentración de BNa (0.1%) mayor efecto sobre los microorganismos, como se esperaba.

Al realizar un análisis de varianza con un 95% de confianza (Apéndice B) para evaluar los factores que afectaban el conteo de BMA se observó que de manera individual tenían un efecto estadísticamente significativo el tiempo de almacenamiento, el tratamiento y la temperatura de almacenamiento como se puede observar en la Figura 24.



*UFC/mLx10^6

Fig. 22. Efecto del tiempo, temperatura de almacenamiento y tratamiento sobre el conteo (millones de UFC/mL) de BMA del segundo grupo de sistemas elaborados.

Como se puede observar en la Figura 24 los tres factores disminuyen la cuenta de BMA lo cual favorece a los sistemas debido a que conforme pasa el tiempo la cuenta se va acercando al máximo permitido por la norma.

Las interacciones que tienen efecto estadísticamente significativo con un 95% de confianza (Apéndice B) sobre el conteo de BMA para el segundo grupo de sistemas elaborados se muestran en las Figura 25, 26, 27 y 28.

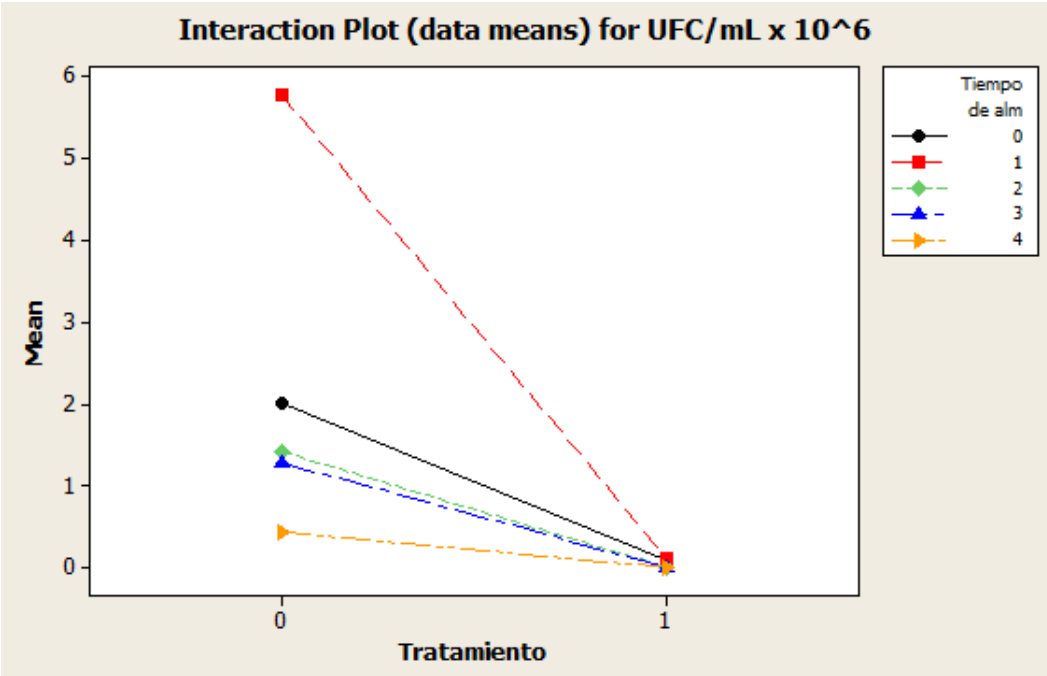


Fig. 23. Efecto de la interacción Tratamiento-Tiempo sobre el conteo de BMA para el segundo grupo de sistemas elaborados.

En ésta figura se puede observar que el conteo se reduce a cero a medida que pasan las semanas y al tener un tratamiento el conteo comienza en un nivel mucho menor que sin tratamiento (≈ 6 a ≈ 2 millones UFC/mL) lo que refleja que haber realizado un tratamiento sobre la materia prima tuvo un efecto positivo sobre la inocuidad de la salsa picante hecha a base de chile de árbol.

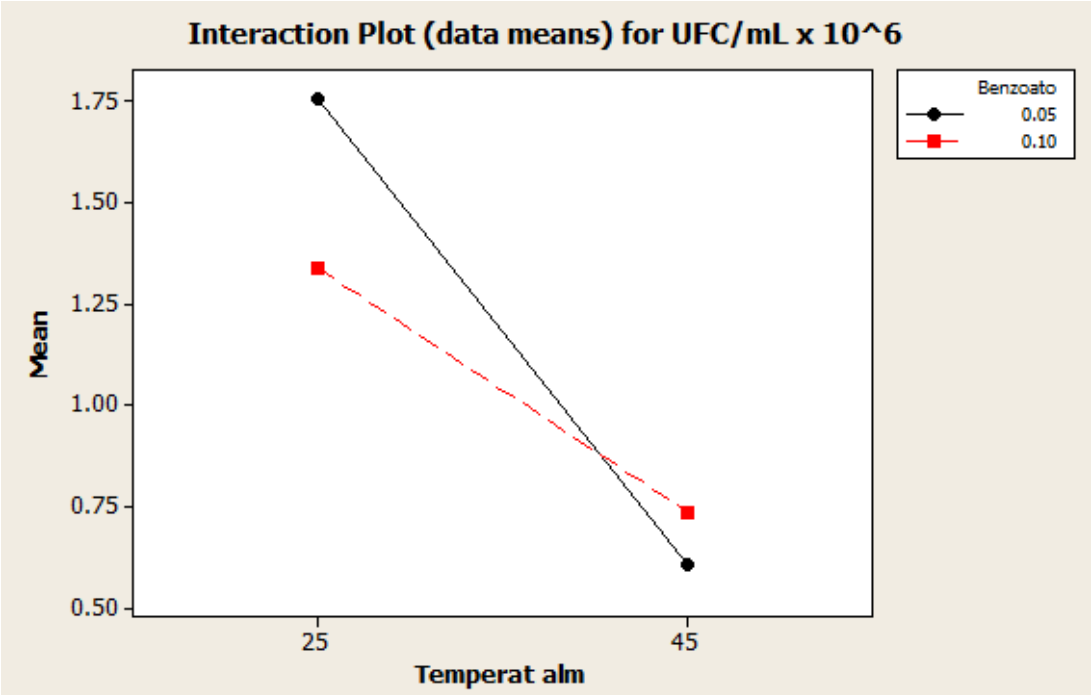


Fig. 24. Efecto de la interacción Temperatura-Benzoato sobre el conteo de BMA para el segundo grupo de sistemas elaborados.

En esta figura se puede apreciar que el aumentar la concentración de benzoato de sodio reduce la cuenta inicial de BMA en alrededor de 0.45 millones UFC/mL y que al aumentar la temperatura la cuenta disminuye pero sigue sin estar por debajo del máximo permitido por la norma (<5000 UFC/mL).

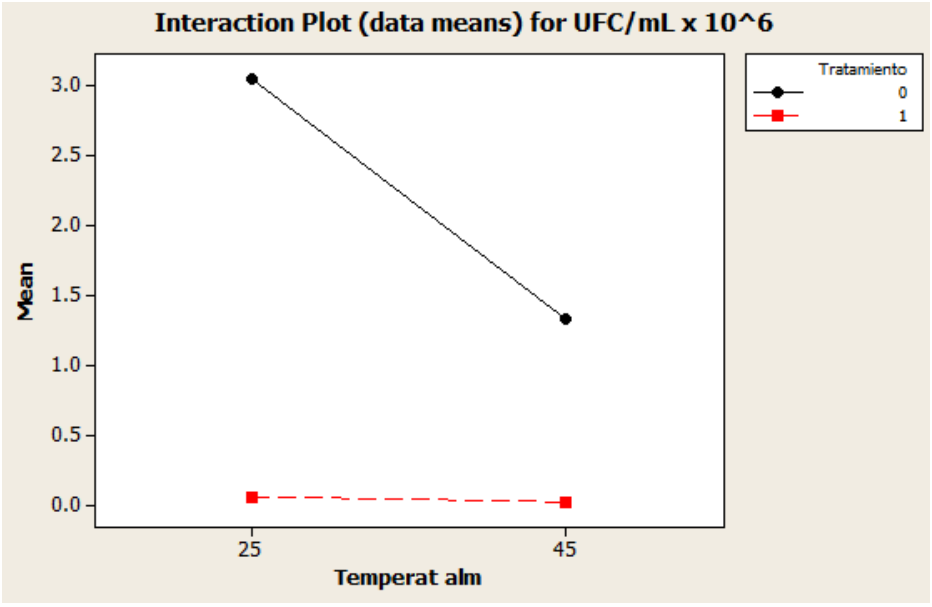


Fig. 25. Efecto de la interacción Temperatura-Tratamiento sobre el conteo de BMA para el segundo grupo de sistemas elaborados.

En esta figura se observa que la temperatura tiene un efecto sobre los sistemas que no tienen tratamiento. Los sistemas con un tratamiento no se ven afectados por la temperatura de almacenamiento.

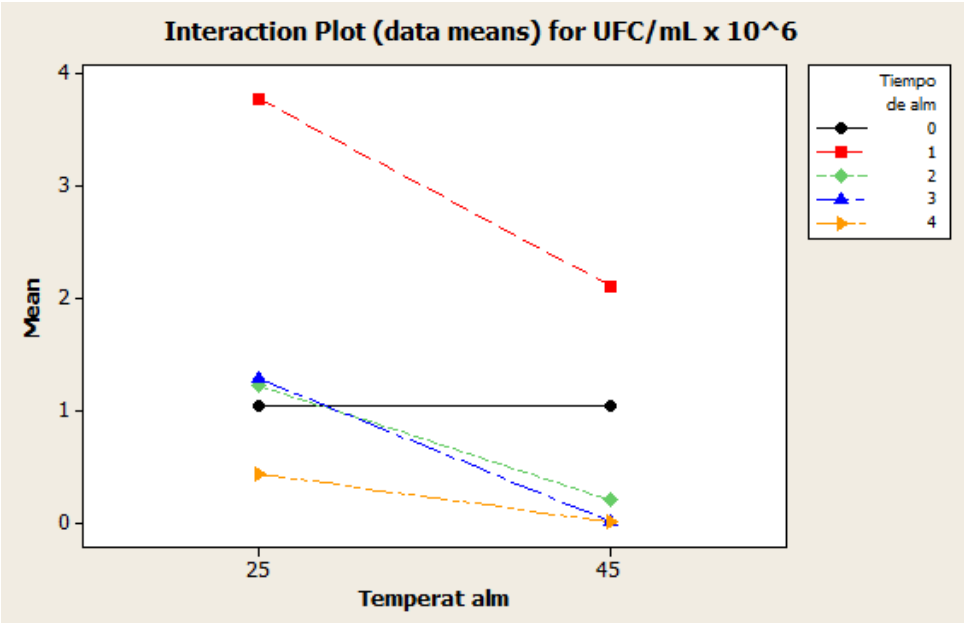


Fig. 26. Efecto de la interacción Temperatura-Tiempo de almacenamiento sobre el conteo de BMA para el segundo grupo de sistemas elaborados.

En esta figura se puede observar que el conteo va disminuyendo al aumentar la temperatura, a excepción del tiempo 0 ya que los sistemas no habían sido almacenados a la temperatura de 45°C al momento de ser elaborados (semana 0). Por otro lado hubo crecimiento microbiano entre el tiempo 0 y 1 pero desde el tiempo 2 se puede observar un conteo mucho menor. Esto se puede deber al pH de los sistemas ya que pH menores a 4.6 inhiben el crecimiento de bacterias y conforme pasa el tiempo se va reduciendo la cuenta microbiana y con la interacción Tiempo-Temperatura se logra reducir el conteo hasta 0 para lograr inocuidad en la salsa picante hecha a base de chile de árbol y que ésta se encuentre dentro de la NOM-093-SSA1-1994 (UFC/mL < 5000).

Por medio del análisis estadístico se puede determinar que las interacciones que mayor efecto tuvieron sobre el conteo de BMA fueron Tratamiento-Tiempo y Temperatura-Tiempo ya que éstas redujeron la cuenta microbiana hasta que fueran menores a 5000 UFC/mL.

7.3.10 Análisis sensorial

Se eligieron las dos formulaciones que estuvieran libres de microorganismos después de las cuatro semanas de almacenamiento. Éstas fueron la C_1 y D_1, ya que antes que cualquier otro parámetro, la inocuidad de los alimentos es la más importante, ya que si contiene microorganismo patógenos pondría en riesgo la salud del consumidor y no sería un producto seguro. Se colocaron las dos muestras (C_1y D_1) junto con la salsa comercial Don Carlos ya que ésta era la única hecha a base de chile de árbol y la que más se asemejaba a los sistemas elaborados.

Se realizó un análisis sensorial por un grupo de 20 jueces no entrenados utilizando una escala hedónica estructurada de nueve puntos para determinar la aceptación de la salsa picante hecha a base de chile de árbol. Se realizó un ANOVA de una vía, con un 95% de

confianza (Apéndice B) para evaluar la aceptación general de la salsa. En la Tabla XXXV se muestran las calificaciones obtenidas.

Tabla XXXIII. Calificaciones de aceptación general de la salsa picante hecha a base de chile de árbol.

Muestra	Calificación	Desv. Est
C_1	7.75	± 0.910
D_1	7.70	± 0.988
DC	6.30	± 2.003

C_1 →0.4%GX + 0.05% BNa almacenado a 45°C durante 4 semanas y con tratamiento
D_1 →0.4%GX + 0.1% BNa almacenado a 45°C durante 4 semanas y con tratamiento
DC→Salsa comercial "Don Carlos"

En el ANOVA realizado se pudo observar la cercanía entre las muestras C_1 y D_1. Las calificaciones que se obtuvieron para éstos sistemas las colocaron entre "me gusta moderadamente" y "me gusta mucho" lo cual indica una buena aceptación general para las salsas picantes hechas a base de chile de árbol. La salsa comercial "Don Carlos" fue calificada entre "me gusta moderadamente" y "me gusta poco" lo cual colocó a las salsas de este estudio en una mejor aceptación general que la salsa comercial.

Se realizó una prueba triangular para detectar diferencias significativas entre los sistemas C_1y D_1 y la salsa comercial "Don Carlos" (Apéndice D), resultando que de los 20 jueces, 15 lograron establecer la existencia de una diferencia entre las muestras. Para que se lograra establecer una diferencia significativa, con un 95% de confianza, al menos 11 de los 20 jueces debían diferenciar salsa comercial entre las salsas elaboradas para este estudio. Por lo tanto sí se logró establecer una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y la salsa comercial.