

VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1 Caracterización de yogures comercial

Se realizó la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de dos tipos de yogurt comercial: asentado y batido. Los yogures analizados se obtuvieron en un centro comercial de la ciudad de Puebla y fueron los siguientes:

Asentados

- ✓ Danone – Cereales del huerto
- ✓ Nestlé, piña – coco (Las temporadas)
- ✓ Alpura, piña – coco
- ✓ Vitalinea piña –toronja –fibra

Batidos

- ✓ Lala, coco
- ✓ Dan up, piña – coco
- ✓ Club, piña colada

El análisis de las propiedades fisicoquímicas de los yogures comerciales se realizó por duplicado. En los Cuadros VIII, IX y X se muestran el promedio y la desviación estándar de las propiedades evaluadas; cabe mencionar que la cantidad de calcio reportada en esta caracterización no se determinó experimentalmente, sino que sólo son los mg de calcio reportados que aparecen en la etiqueta nutrimental del producto, las demás propiedades se determinaron por análisis oficiales de laboratorio.

Cuadro VIII. Propiedades fisicoquímicas de yogures comerciales (1).

MARCA	pH	Acidez (% ácido láctico)	Humedad (%)
I. Asentados			
Nestlé	4.88 ± 0.01	0.74 ± 0.01	66.39 ± 0.42
Danone	4.61 ± 0.01	0.47 ± 0.02	71.22 ± 0.02
Alpura	4.41 ± 0.00	0.63 ± 0.02	74.94 ± 0.02
Vitalinea	4.67 ± 0.01	0.69 ± 0.04	76.10 ± 0.02
Batidos			
Lala	4.62 ± 0.01	0.24 ± 0.02	83.62 ± 0.01
Dan-up	4.51 ± 0.01	0.60 ± 0.01	80.41 ± 0.01
Club	4.61 ± 0.00	0.31 ± 0.02	79.68 ± 0.06

Cuadro IX. Propiedades fisicoquímicas de yogures comerciales (2).

MARCA	Densidad relativa	Sinéresis (%)	Fibra (%)	Calcio mg/100g
II. Asentados				
Nestlé	1.034 ± 0.091	82.01 ± 6.97	0.27 ± 0.01	b
Danone	1.111 ± 0.006	66.46 ± 3.81	0.14 ± 0.00	b
Alpura	0.981 ± 0.165	72.68 ± 0.79	a	86.00
Vitalinea	1.057 ± 0.026	74.62 ± 4.35	0.20 ± 0.06	96.60
Batidos				
Lala	1.057 ± 0.009	31.61 ± 6.37	a	90
Dan-up	1.050 ± 0.004	32.02 ± 2.32	a	63.30
Club	1.039 ± 0.023	42.68 ± 1.23	a	71

a. El producto no contiene fibra, b. El producto no reporta cantidad de calcio.

Cuadro X. Parámetros de color de yogures comerciales.

Marca	Color		
	L	a	b
III. Asentados			
Nestlé	39.927 ± 0.095	-1.727 ± 0.039	3.453 ± 0.099
Danone	38.880 ± 0.169	-0.673 ± 0.052	2.093 ± 0.045
Alpura	39.900 ± 0.029	-1.987 ± 0.017	3.487 ± 0.074
Vitalinea	37.113 ± 0.038	0.653 ± 0.021	8.073 ± 0.076
Batidos			
Lala	36.693 ± 0.009	-0.850 ± 0.008	-0.097 ± 0.021
Dan-up	38.307 ± 0.031	-2.970 ± 0.042	5.437 ± 0.039
Club	37.643 ± 0.082	-1.540 ± 0.014	3.060 ± 0.067

La acidez, al igual que el pH es una propiedad de suma importancia debido a que es un indicador de los microorganismos que pueden estar presentes, desarrollarse o deteriorar el alimento (Alatraste, 2002).

Con respecto al pH, en casi todas las muestras de yogurt comercial, se observó que los valores de esta propiedad se encuentran dentro del rango esperado, es decir entre 3.7 y 4.6, valores también reportados por Rivas (2000). Pero a diferencia de las marcas Nestlé (pH = 4.88) y Vitalinea (pH = 4.67), el valor de pH obtenido aumenta un poco en comparación con las otras marcas. Indicando que se encuentran dentro de los alimentos con acidez intermedia (4.6 – 5.3). Estos valores indican que probablemente no hubo una adecuada incubación del producto, impidiendo que llegase a los valores de pH esperados.

El pH en el yogurt es una de las propiedades principales, debido a que en su elaboración se busca disminuir el pH de la leche (6.5 – 6.7) y llegar al pH del yogurt, lo cuál contribuye al olor y sabor característico (Illescas, 2001).

La acidez en productos lácteos es expresada como porcentaje de ácido láctico, el porcentaje de ácido láctico presente en el yogurt varía o debe variar de 0.8 a 1.8 % (Ley General de Salud, 1996), los valores de acidez obtenidos reflejan que la mayoría de los productos analizados tienen un porcentaje de acidez menor al reportado, sin embargo es importante mencionar que los yogures batidos son menos ácidos que los asentados, esta diferencia es importante ya que dependiendo de la producción de ácido se afecta la textura y el sabor del producto, además el aumento en la acidez en yogurt por la producción de ácido láctico ocasiona la coagulación de la caseína (Fennema, 1996).

Como se mencionó anteriormente, la acidez es una propiedad muy ligada al pH y como se observa en el Cuadro VIII, en algunos productos, la acidez de los mismos se ve afectada.

De acuerdo a lo reportado por Harper y Hall (1981) la densidad experimental de productos lácteos oscila entre 1.032 y 1.036, esta se mantiene constante en los productos analizados, a excepción de la marca Alpura, cuyo valor de densidad es menor a uno, incluso no posee el valor de densidad reportado en bibliografía. Lo cuál refleja que es un producto con menos sólidos y más grasa en comparación con las demás marcas.

La humedad es la cantidad de agua presente en el alimento, el conocer la cantidad de agua del alimento que se encuentra libre, ayuda a prevenir algunas reacciones de crecimiento microbiano indeseable.

Al observar el porcentaje de humedad o contenido de sólidos totales, los valores obtenidos oscilan desde el 66.39 % de humedad hasta el 83.62 %, estos valores dependen del tipo de yogurt (asentado o batido) y del contenido de fruta presente en el producto, ya que el yogurt de tipo asentado contenía mayor cantidad de fruta es decir más sólidos a diferencia de los batidos que no contenían casi nada de fruta.

La sinéresis o capacidad de retención de agua, es un fenómeno que varía dependiendo del tipo de yogurt, como se observa los yogures del tipo asentado muestran valores más altos que los del tipo batido.

Un factor que influye en el aumento de la sinéresis es el desarrollo de la alta acidez, al igual que la agitación a temperaturas relativamente altas; la sinéresis en el yogurt también se ve afectada por la presencia de aditivos como pueden ser gomas y por la adición de minerales aumentando el porcentaje de sinéresis (Tamime y Robinson, 1991).

Los yogures asentados tienen un mayor porcentaje de sinéresis, así como un mayor porcentaje de acidez, lo que demuestra que la sinéresis aumenta conforme aumenta la acidez. Vélez y Barbosa (1997) mencionan que la sinéresis es considerada como un defecto en el yogurt, durante años se ha establecido que la combinación de buena firmeza sin sinéresis es esencial para obtener un yogurt de alta calidad.

Con respecto al color se observa que la luminosidad se mantiene constante en casi todas las marcas, sin embargo con respecto al parámetro a, Vitalinea tiene un valor positivo a diferencia de las demás marcas, lo cuál indica su tendencia hacia los anaranjados debido a su composición, de igual forma, con respecto al parámetro b, Vitalinea tiene el valor más grande (8.073), mientras que Lala, presenta un valor negativo (-0.097), lo cual permite conocer la tendencia de este producto hacia el color amarillo (+) o al azul (-). Las diferencias en color de los diferentes productos analizados se debe a sus componentes (toronja, piña, coco, etc), que proporcionan al yogurt diferencias en color.

El porcentaje de fibra reportado, se determinó mediante el análisis de fibra cruda, como se observa los porcentajes de fibra obtenidos son demasiado bajos y sólo hay fibra en yogures tipo asentado, proveniente de la fruta adicionada a estos productos.

La cantidad de calcio reportada en esta caracterización fue de 63.3 – 96.6 mg / 150 mL, cantidad que no cumple la ingestión diaria de calcio recomendada por el INNSZ (2001), el Instituto Salvador Zubirán recomienda una ingesta diaria de 450 - 600 mg para infantes, 800 - 1000 mg para niños y púberes, adultos 800 mg y mujeres embarazadas y lactantes 1200 mg, razón por la que es importante enriquecer con calcio un lácteo como el yogurt.

En las Figuras 5 y 6, se observa el comportamiento reológico de yogures comerciales de tipo batido y asentado respectivamente que fueron caracterizados.

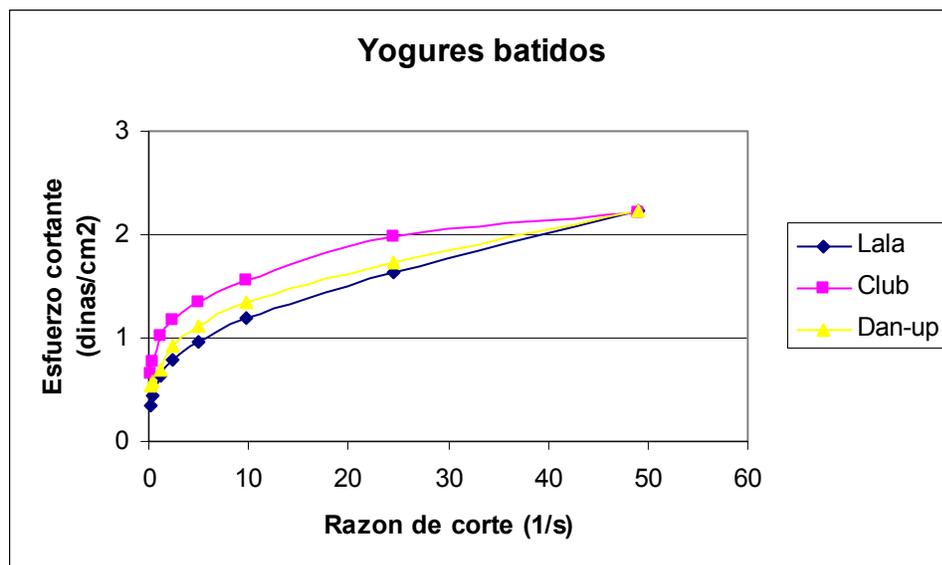


Figura 5. Reograma de yogures tipo batido.

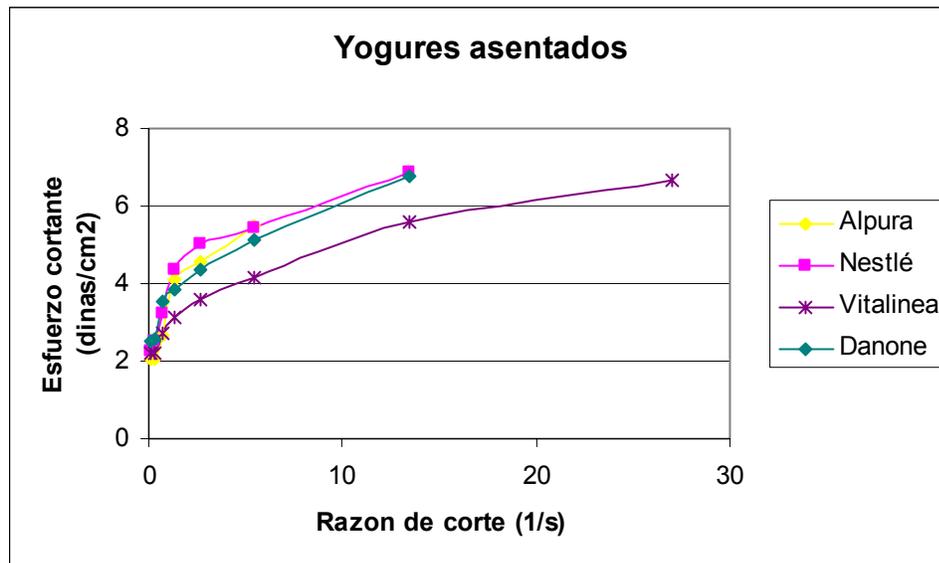


Figura 6. Reograma de yogures tipo asentado.

Al regresionar τ vs. $\dot{\gamma}$ en su forma logarítmica se obtiene la pendiente n y el intercepto $\log k$. El valor de n denota el comportamiento newtoniano ya que si $n=1$ es un fluido newtoniano, si $n>1$ es un fluido dilatante, y si $n<1$ es un pseudoplástico (Peleg y Bagley, 1983).

En el reograma de ambas figuras, se observa que el comportamiento que presentan ambos tipos de yogur (asentado y batido) es el de un fluido no newtoniano, ambos reogramas representan la relación entre la fuerza tangencial que hace fluir un material y la razón de corte.

Con respecto a las propiedades reológicas, el Cuadro XI muestra que todos los productos analizados tienen un índice de flujo muy semejante, en donde $n<1$ por lo tanto son fluidos con un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico. También se observa que el modelo ajustó muy bien debido a que los PEM son pequeños ($<15\%$) así como los valores de RMSE.

Cuadro XI. Propiedades reológicas de yogures comerciales, analizados por el modelo Ley de Potencia.

Sistema	Indice de flujo (n)	Log de Coeficiente de consistencia (Pa*sⁿ)	R²	PEM	RMSE
BATIDOS					
Lala	0.345	0.056	0.998	2.436	0.039
Club	0.234	0.092	0.996	2.402	0.036
Dan-up	0.279	0.072	0.989	3.584	0.049
ASENTADOS					
Alpura	0.297	0.336	0.950	7.484	0.256
Nestlé	0.252	0.368	0.982	4.615	0.222
Vitalinea	0.217	0.306	0.975	5.415	0.233
Danone	0.215	0.367	0.978	4.619	0.194

Ramaswamy y Basak (1992) trabajaron en los efectos reológicos de pectina y frambuesa en la reología de yogurt batido y observaron que tanto el esfuerzo de corte como el esfuerzo de cedencia siguen el modelo de Herschel-Bulkley, notando que tanto el coeficiente de consistencia como viscosidad aparente se incrementan cuando se incrementa la cantidad de concentrado.

En el Cuadro XI. se puede apreciar que ambos tipos de yogurt tienen un índice de flujo comparable, mientras que su coeficiente de consistencia es muy diferente, siendo del orden de 8 a 10 veces más alto el de yogurt de tipo asentado. Esto se debe a la integridad del gel y a la composición de cada uno de los productos, debido a que los yogures asentados contienen fruta y en algunos casos fibra, lo que genera que el yogurt sea mas viscoso y con un coeficiente de consistencia mayor.

6.2 Selección de la fuente de fibra y calcio

Uno de los principales objetivos de este trabajo fue elaborar un producto alimenticio que pudiese mejorar la alimentación en cuanto al consumo de fibra y calcio del consumidor en general, para ello se buscaron fuentes de fibra con alto contenido, y que además pudiesen ser incorporadas al yogurt.

Una de las fuentes analizadas fue la proveniente de cáscaras de cítricos (naranja, limón y toronja), a las cuales se les realizó un análisis de fibra cruda, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro XII. Composición experimental de cáscaras de cítricos.

Tipo de cítrico	% de Fibra	% de
	Cruda	Humedad
Naranja	5.394	15.35
Toronja	6.360	15.59
Limón	8.013	12.49

Larrauri *et al.*, (1994) reportó esta fuente de cítricos como una fibra con alto porcentaje de fibra dietética total (65 %) y alta capacidad de absorción de agua (10 g agua /g base seca). Al analizar la combinación de cáscaras de cítricos se observa que la cantidad de fibra es baja (19.767 %) en comparación con lo reportado con Larrauri *et al.*, además en cuanto a sus características sensoriales, la fibra de cítricos presentó un sabor ligeramente amargo, con cierta acidez, razón principal por la que se decidió descartarla.

Sin embargo, a pesar de tener fibra, esta fuente no se empleó para este trabajo, debido a que dejaba un resabio amargo y además debía de realizarse un secado previo de las cáscaras, así como una trituration, lo cuál provocaba un mayor consumo de tiempo y sobre todo no proporcionaba un buen sabor al yogurt.

También se pensó en frutas deshidratadas (manzana), sin embargo no se le realizó ninguna prueba de composición debido a que se enfrentó el mismo problema con las cáscaras de cítricos, ya que se debía lavar bien, no pelarla y secarla, lo cual implicaba más tiempo.

Así se decidió buscar en el mercado una fuente de fibra comercial y se encontró un suplemento alimenticio conocido como “linaza canadiense” y “linaza mexicana”, a las cuales se les realizó una caracterización, obteniendo la siguiente composición:

Cuadro XIII. Composición experimental de linaza canadiense y mexicana.

Fibra	% de Fibra de la cual		% Proteína	% Cenizas	% Grasa	Calcio (mg)	% Agua
	%Cruda	%dietética					
linaza canadiense	28.036	26.804	24.445	4.537	28.893	10	7.793
linaza mexicana	28.320	22.669	28.800	4.583	35.626	3	4.458

Como se observa en ambos tipos de linaza se obtuvo un buen porcentaje de fibra, tanto cruda como dietética, razón por la cuál se decidió utilizarla con 2 niveles de adición (0.5 y 1g / 100 mL de producto).

Una vez seleccionada la fuente de fibra y los niveles de ésta, así como los niveles de calcio, se procedió a elaborar y a evaluar el yogurt enriquecido con estos componentes.

6.3 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de yogurt bajo en grasa enriquecido con fibra y calcio.

6.3.1 pH

El rango de pH obtenido en los diferentes sistemas de yogures analizados fue de 4.3 a 4.8 para sistemas 1% grasa y linaza canadiense y de 4.4 a 4.6 para sistemas 1% grasa y linaza mexicana, en sistemas con 2% de grasa el rango fue 4.4 a 4.6 para linaza canadiense y de 4.1 a 4.5 para linaza mexicana, mientras que para sistemas 3% de grasa el rango fue de 4.3 a 4.5 para linaza canadiense y de 4.2 a 4.5 para mexicana. Estos valores están dentro del óptimo sugerido por Salji e Ismail (1983) que reportan datos para yogurt natural almacenado en refrigeración a 4 °C y 7 °C, durante 3 semanas de almacenamiento, con valores de pH de 3.81 a 4.59.

También se observa que los diferentes sistemas nunca llegaron a bajar a valores de pH menor a 4.2 a excepción de los controles, lo que se considera una ventaja y que el producto sea de buena calidad.

El pH también fue mayor en sistemas enriquecidos con linaza canadiense, lo que demuestra que el mayor efecto de la variación de pH está en el tipo y la cantidad de fibra adicionada.

En las Figuras 7-12, se observa que conforme se incrementa la cantidad de fibra (1 g) en el yogurt, el valor de pH incrementa. Además se observa un efecto con respecto a la adición de calcio, ya que al tener una cantidad mayor de calcio el valor de pH también incrementa, esto atribuye al efecto amortiguador de la sal de calcio, como se ha observado en otros estudios como el de Aguirre (2001), Del Fabbro (2001) y Aportela (2003).

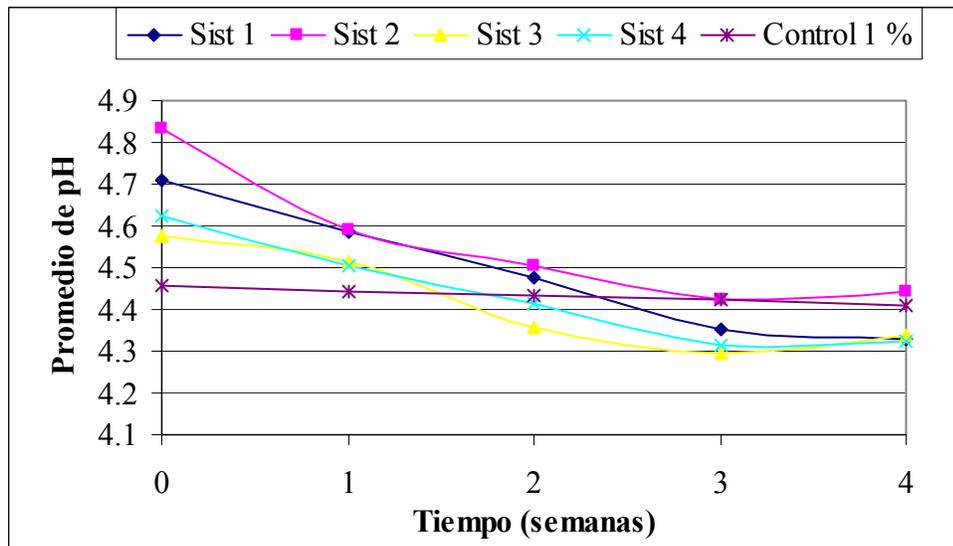


Figura 7. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

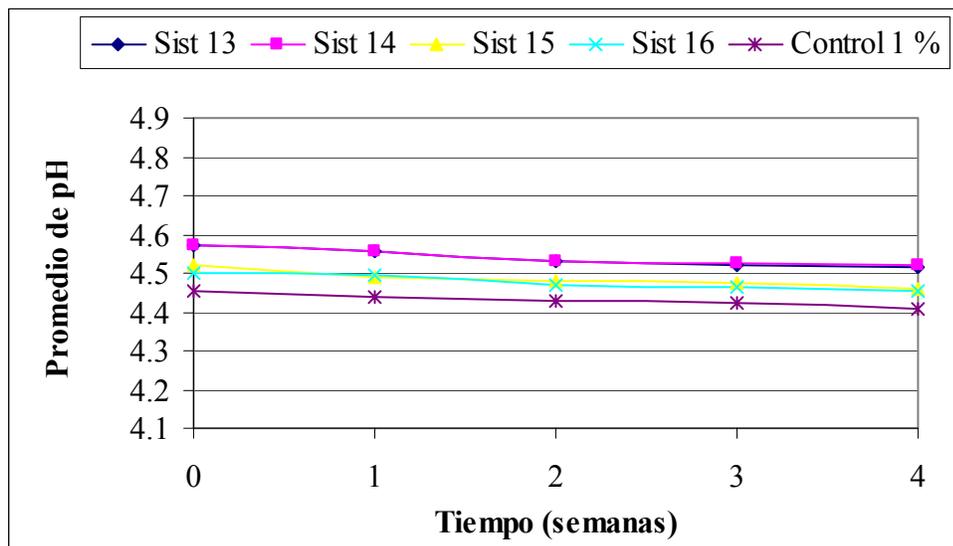


Figura 8. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

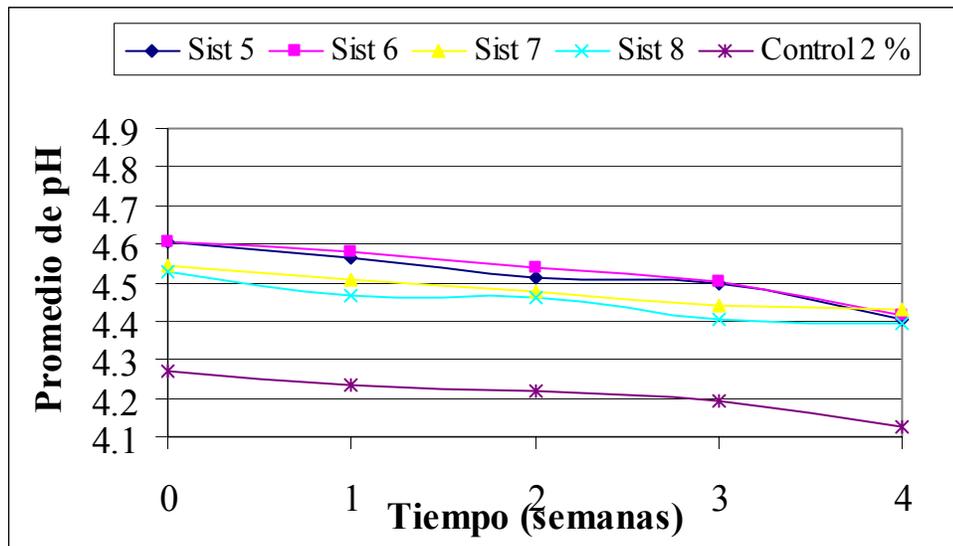


Figura 9. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 porciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

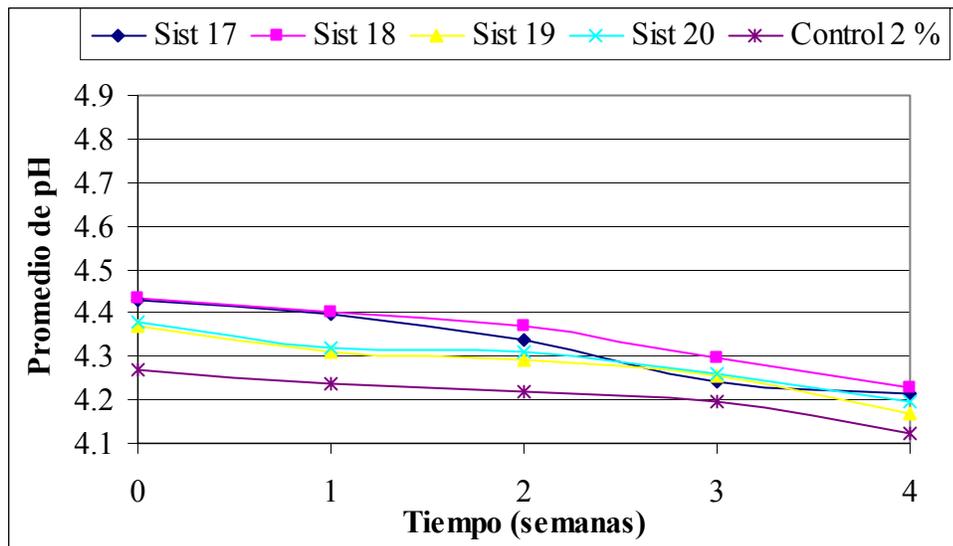


Figura 10. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 porciento de grasa y linaza mexicana fuente de fibra.

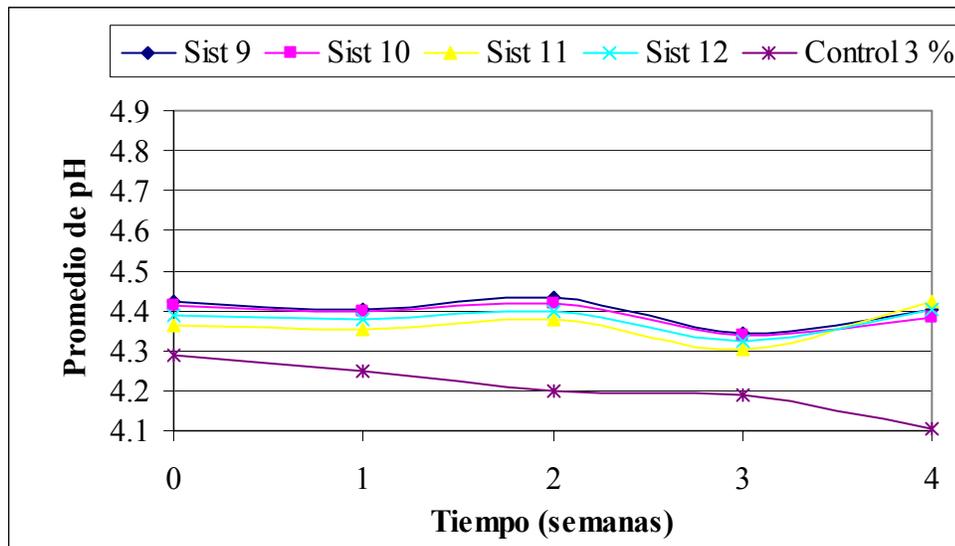


Figura 11. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

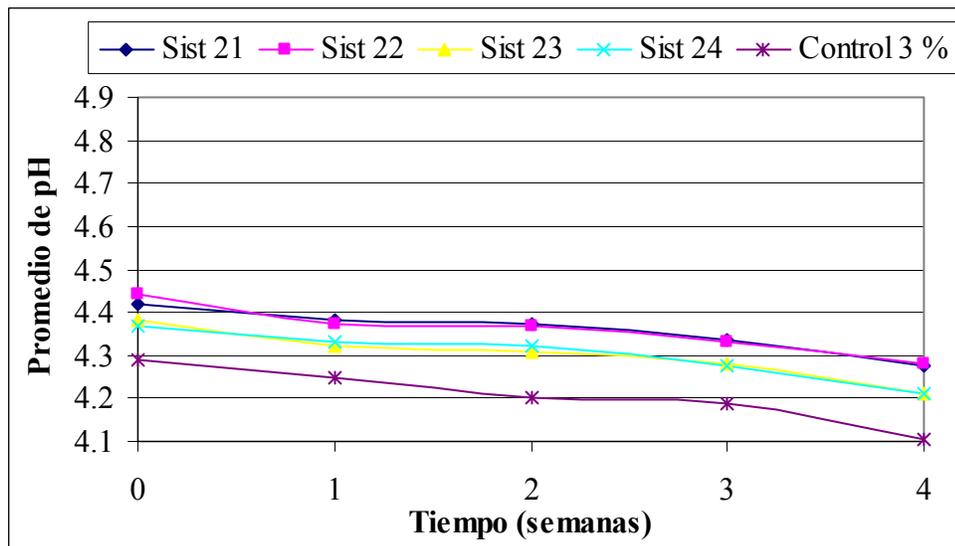


Figura 12. Variación del pH promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

Por otro lado el efecto del calcio fue también importante ya que los sistemas enriquecidos con 100 mg de calcio / 100 mL de producto tuvieron un valor de pH mayor, sin embargo este efecto de incremento se observa mejor en sistemas enriquecidos con linaza canadiense debido a que contiene mayor cantidad de calcio que la linaza mexicana.

Con respecto a la grasa, los sistemas más afectados en cuanto al pH son los de 1 por ciento de grasa, debido a que el valor de pH es mayor que el de los sistemas de 2 y 3 por ciento de grasa.

De manera general las Figuras 7-12, revelan que el pH tiende a decrecer durante el almacenamiento. La disminución en el pH se debe a que las bacterias ácido lácticas continúan su actividad metabólica, a pesar de que la temperatura de almacenamiento es baja ($< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) produciendo ácido láctico, lo que provoca que el medio se acidifique y baje el pH. Los resultados generales se muestran en el Apéndice A.

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) realizado para todos los sistemas con un nivel de confianza del 95 % mostrado en el Apéndice B, se encontró que todos los sistemas (1-24) presentan diferencia significativa en el valor de pH con respecto a la semana 0, esto es por la composición de cada uno. Además hay diferencia significativa conforme se incrementa la cantidad de fibra adicionada y el menor contenido de grasa 1% debido a que el pH es mayor en estos sistemas.

En cada uno de estos sistemas se observó que el efecto de almacenamiento sobre el pH si se afecta durante el almacenamiento, razón por la que se debe dar seguimiento de esta propiedad hasta el final del estudio.

6.3.2 Acidez Titulable.

La acidez de un yogur debe oscilar entre 0.8 a 1.8 por ciento de ácido láctico. La producción de ácido láctico es importante para obtener un yogurt de alta calidad, con sabor propio, cuerpo y textura, esto es para que el producto tenga el mínimo de porcentaje de sinéresis durante el almacenamiento (Ankenman, 1996).

En este trabajo algunos sistemas cumplen con los valores de porcentaje de ácido láctico requerido, la acidez es una propiedad que va en aumento durante el almacenamiento, como se mencionó, tal incremento se debe a la producción de ácido láctico por las bacterias lácticas presentes en el yogur. Este incremento en acidez se observa en las Figuras 13-18.

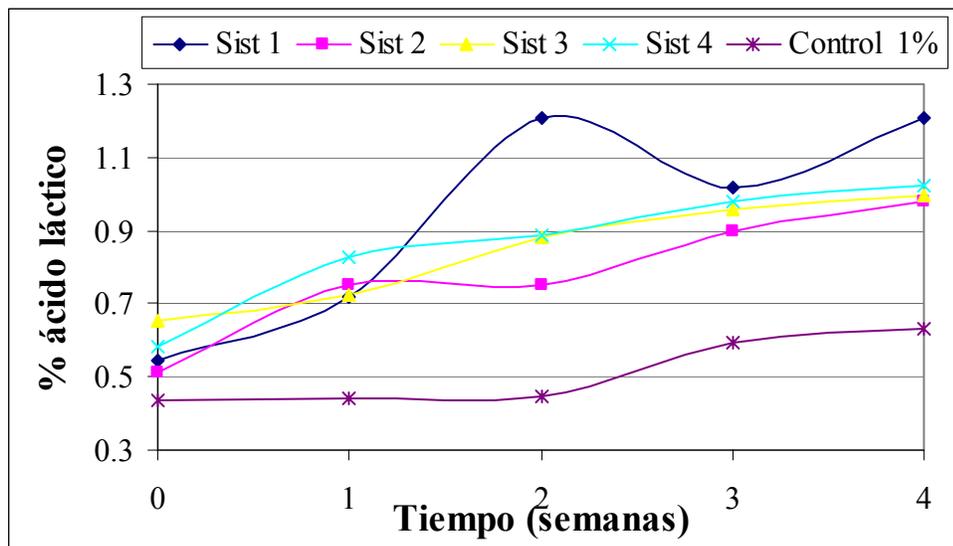


Figura 13. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

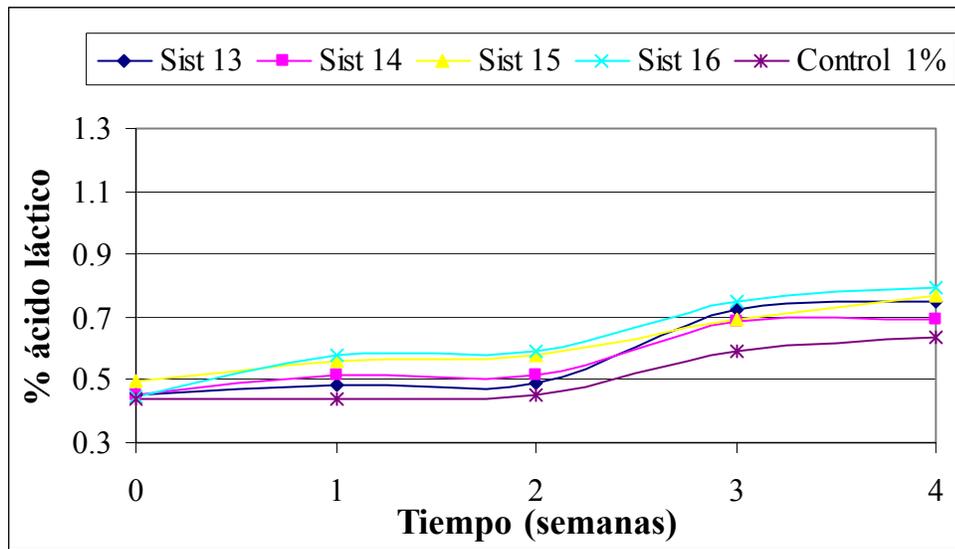


Figura 14. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

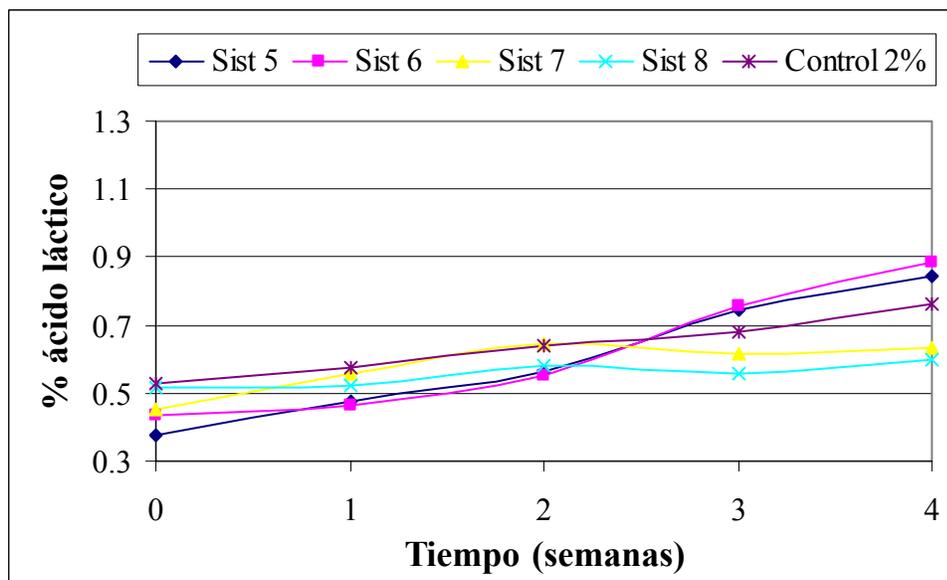


Figura 15. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

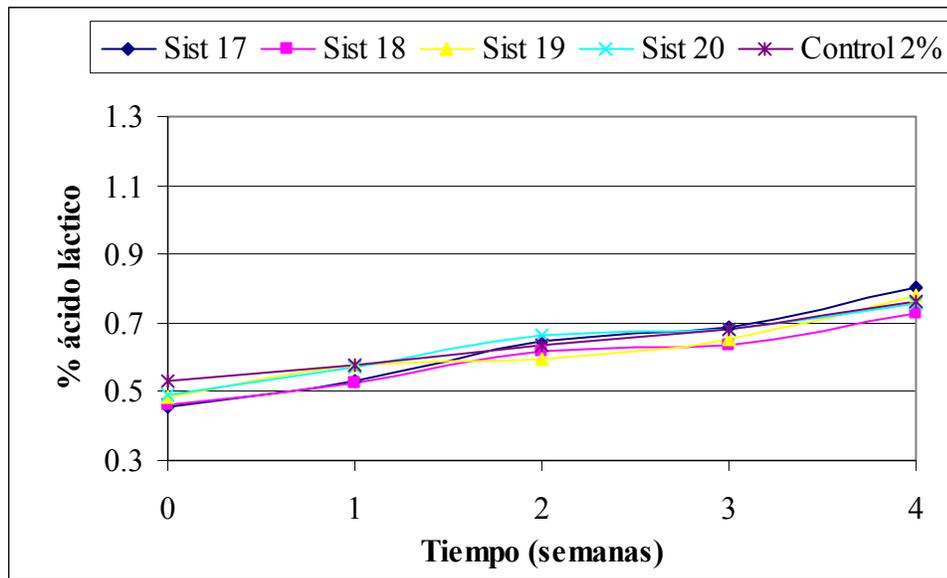


Figura 16. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

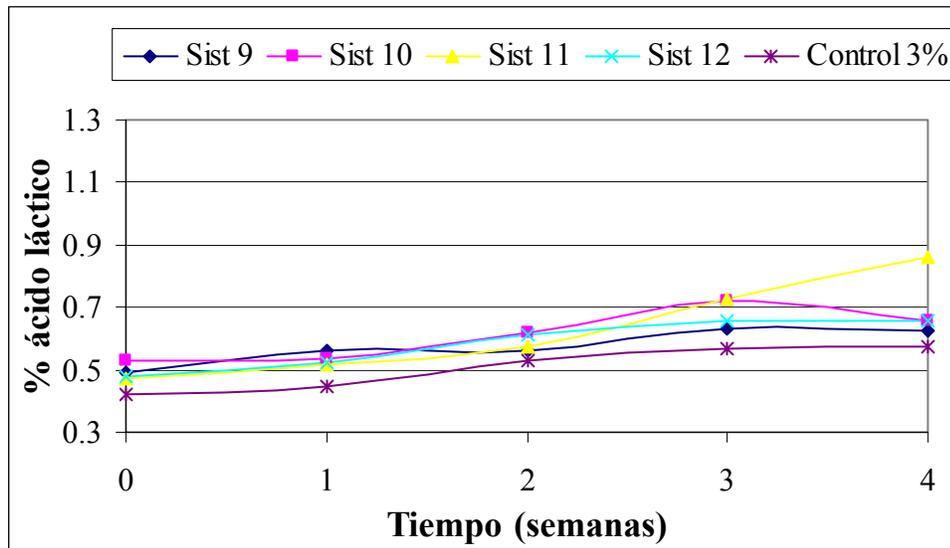


Figura 17. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

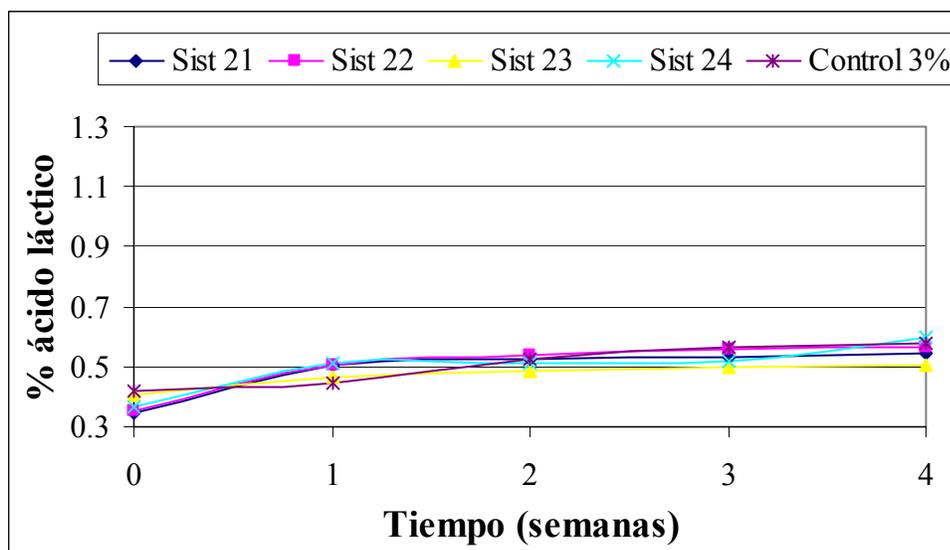


Figura 18. Variación del porcentaje de acidez promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

Las Figuras 13-18 reflejan que al inicio del almacenamiento el yogurt no estaba tan ácido como al final del período de almacenamiento, ya que al inicio los porcentajes de ácido láctico son de 0.4 y 0.5 % en promedio, sin embargo conforme transcurrió el tiempo los sistemas se fueron acidificando más, hasta llegar al porcentaje recomendado por la Ley General de Salud (1996), mismo que se alcanza aproximadamente a la semana 2 de almacenamiento.

Existen mucho reportes donde el porcentaje de acidez se incrementa al final del período de almacenamiento, como el que menciona Salji e Ismail (1983), que evaluaron el efecto de la acidez inicial de yogurt natural y los cambios de dicha acidez durante el almacenamiento, ellos encontraron que los máximos cambios en acidez ocurren durante la primera semana de almacenamiento y de ahí en adelante los cambios son mínimos, las muestras con baja acidez inicial tienen un valor alto de pH. Tal efecto se comprueba en este estudio, ya que los sistemas con 1 por ciento de grasa tienen alta acidez (0.5 a 1.2

por ciento para yogures con linaza canadiense y de 0.45 a 0.8 por ciento para yogures con linaza mexicana).

Drake *et al.*, (2000), estudiaron los efectos de fortificación con proteína de soya sobre las propiedades químicas, sensoriales y microbiológicas de yogures, ellos concluyeron que el valor de pH promedio y porcentaje de ácido láctico en sistemas almacenados durante 4 semanas de almacenamiento a 5 °C fue de 3.95 y 1.5 respectivamente. El porcentaje de ácido láctico es alto en comparación con el encontrado aquí, sin embargo el porcentaje es alto debido a la adición de la proteína de soya, lo mismo ocurre en este trabajo ya que la acidez se incrementó al contener mayor cantidad de linaza (1 g).

Se observó que en general los sistemas de yogurt adicionado con más calcio y más fibra tienen un porcentaje de acidez menor.

Pirkul *et al.*, (1998), reportaron que la adición de calcio a yogurt provoca que la acidez sea menor, por el efecto amortiguador del calcio sobre las bacterias ácido lácticas, ya que las bacterias producen menor cantidad de ácido debido a la presencia de calcio y al mismo carácter químico de este elemento.

Por otro lado Rønégard y Dejmet (1993), comentaron que el calcio se asocia con las micelas de caseína y provoca que las bacterias no se sigan reproduciendo consecuencia que ocasiona que la acidez sea menor en sistemas adicionados con más calcio.

Laye *et al.*, (1993), estudiaron las propiedades químicas, microbiológicas y sensoriales de yogurt natural no graso y encontraron valores de pH de 4.2 a 4.5 y % de ácido láctico de 0.9 a 1.3 por ciento, concluyendo que el porcentaje de ácido láctico incrementa a través del tiempo de almacenamiento, debido al cultivo y concentraciones utilizadas, bien es cierto que la cantidad y el tipo de cultivo son importantes para obtener una buena acidez, sin embargo en este trabajo se llegó a los porcentajes de acidez requeridos, sin tener que ser necesario algún tipo de cultivo específico.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló que no hay diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) de todos los sistemas (1-24) a la semana 0 con respecto al porcentaje de ácido láctico, sin embargo si hay diferencia de estos sistemas (1-24) a las diferentes semanas de almacenamiento sobre el porcentaje de ácido láctico.

También se observó diferencia estadística con respecto a la cantidad de calcio y fibra adicionada, es decir; menor efecto al contener más fibra y calcio.

Finalmente se observó diferencia estadística con respecto a la cantidad de grasa, debido a que hay mayor acidez al tener menor porcentaje de grasa.

Por lo que podemos decir que hay efecto de la adición de calcio y de fibra que influye sobre el valor de ácido láctico obtenido.

6.3.3 Sinéresis

En las Figuras 19-24 se presenta el porcentaje de sinéresis obtenido, en donde se observa que este fenómeno va en aumento a través del tiempo; en los sistemas con 1 por ciento de grasa hubo oscilaciones con tendencia a aumentar, el porcentaje de sinéresis de estos sistemas con linaza canadiense fue de 27 a 38 por ciento y con linaza mexicana fue de 33 a 59 por ciento; en sistemas con 2 por ciento de grasa y linaza canadiense el porcentaje de sinéresis fue de 39 a 59 por ciento y los de linaza mexicana de 42 a 58 por ciento, finalmente los sistemas con 3 por ciento de grasa tienen un comportamiento un poco diferente a todos los anteriores, pues el porcentaje de sinéresis aumenta mucho más conforme el tiempo transcurre, el promedio fue para linaza canadiense de 40 a 59 por ciento y para linaza mexicana de 48 a 61 por ciento.

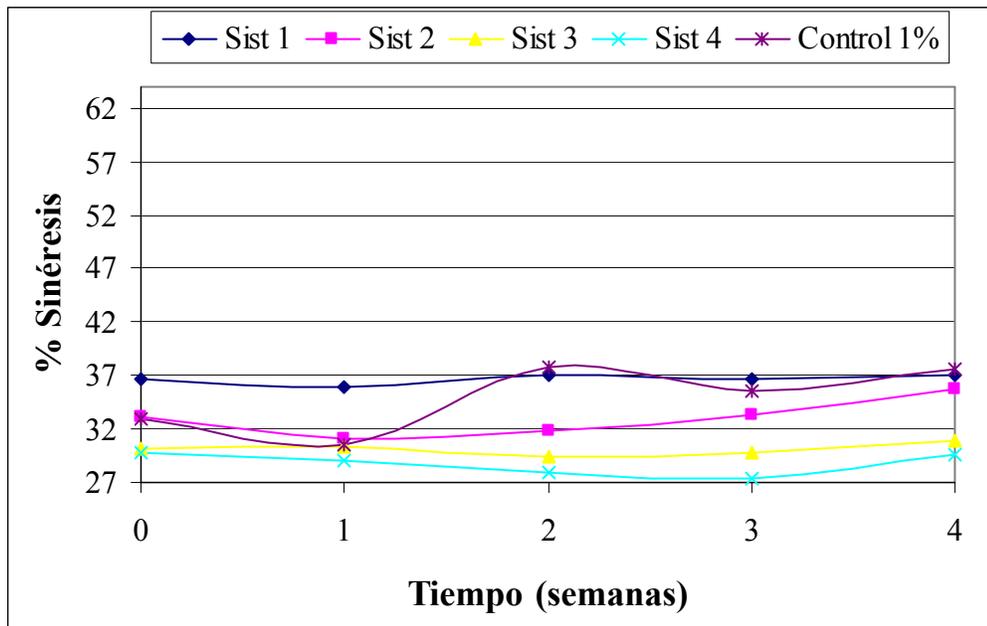


Figura 19. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

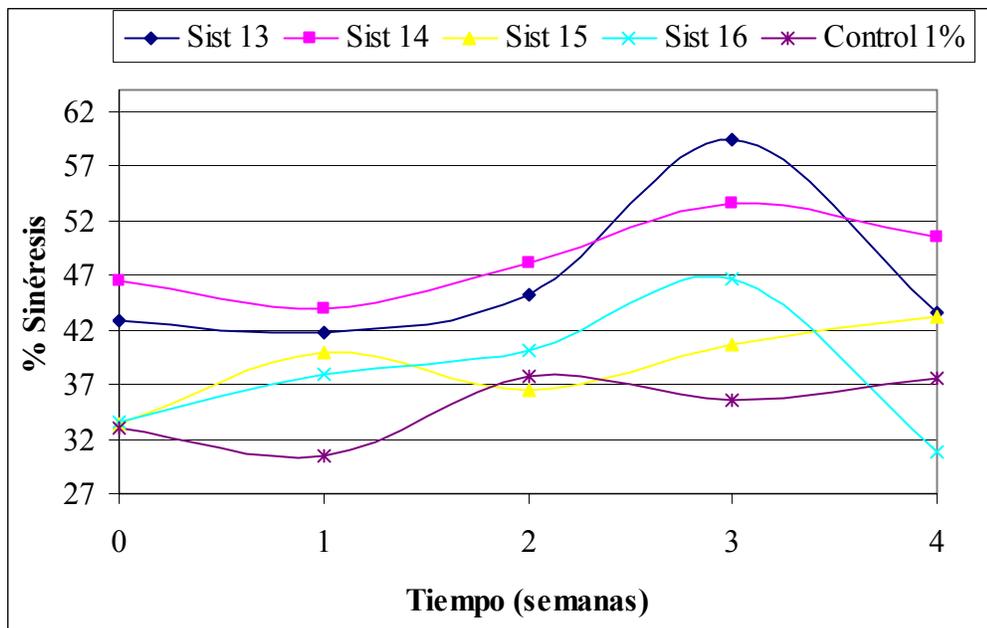


Figura 20. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

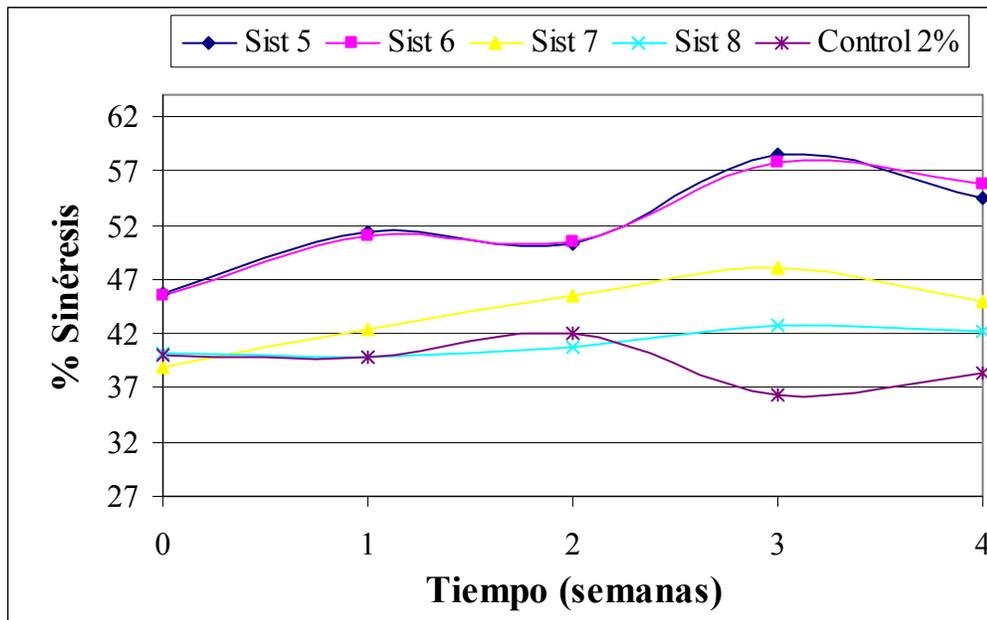


Figura 21. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

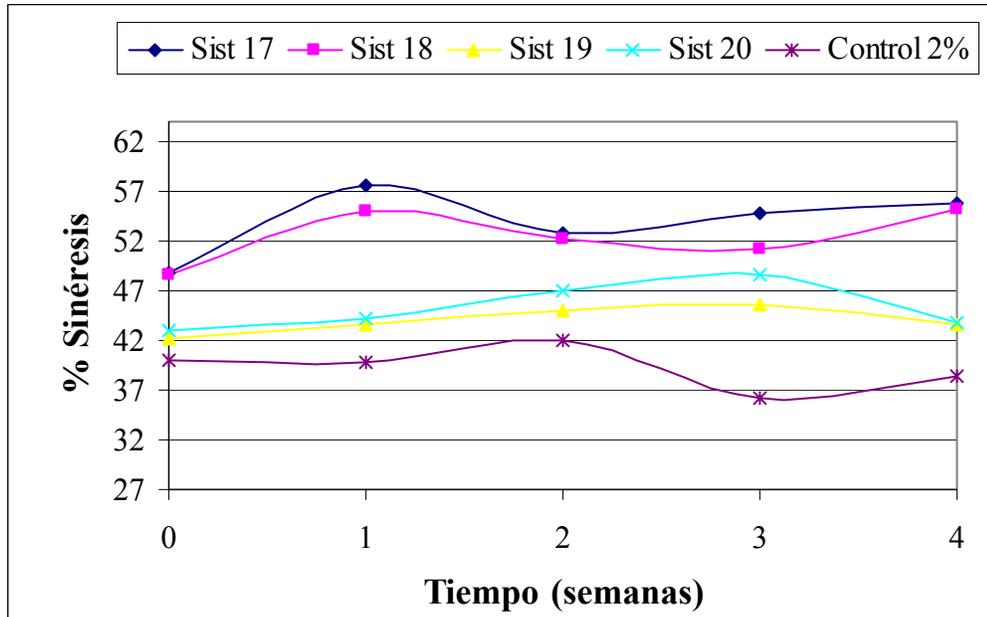


Figura 22. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

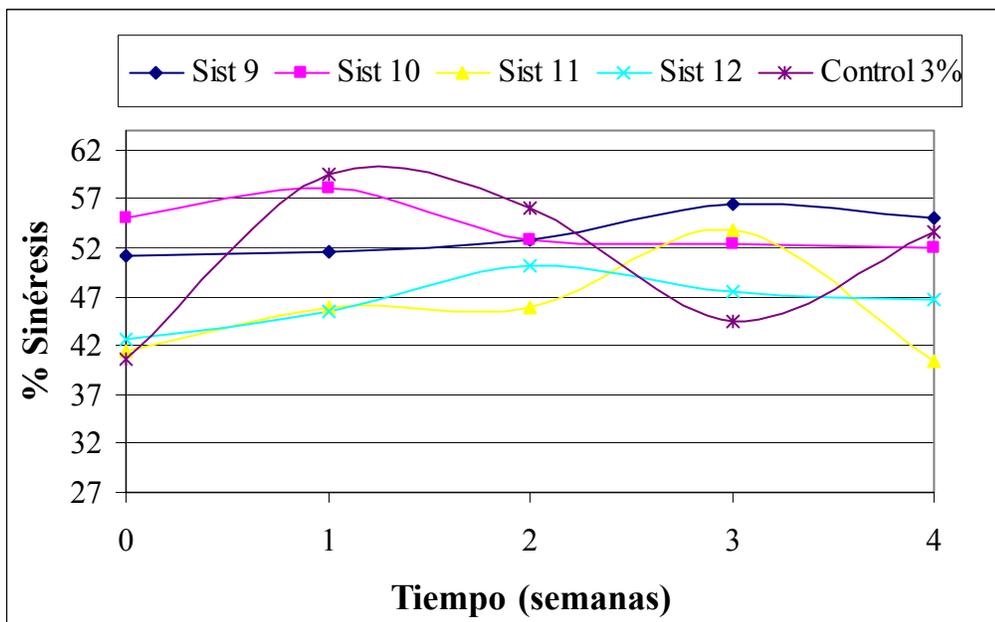


Figura 23. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

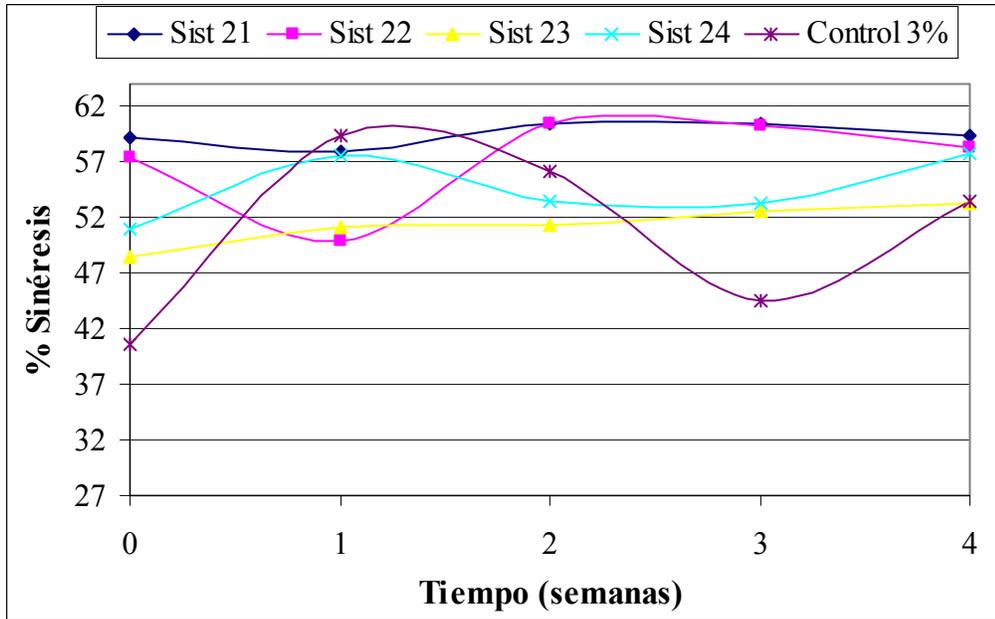


Figura 24. Variación del porcentaje de sinéresis promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

Los sistemas elaborados se consideran del tipo batido, debido a que se tuvo que romper el gel porque se adicionó fibra (linaza) y calcio después de la incubación, este proceso de semi-batido (rompimiento del gel) afectó las propiedades reológicas y la sinéresis de los diferentes sistemas.

El porcentaje de sinéresis adecuado para tener una buena calidad según Alatríste (2002), debe ser menor al 42 por ciento para yogurt del tipo asentado, este porcentaje se cumple para los sistemas con 1 por ciento de grasa enriquecidos con linaza canadiense (< 38 por ciento), sin embargo en todos los demás sistemas el porcentaje es mayor a 42 por ciento, incluso llega hasta 61 por ciento, sin embargo este valor de 42 por ciento es para yogurt asentado y como se mencionó el yogurt elaborado en este trabajo es batido.

Tamime y Robinson, (1991) mencionan que si el porcentaje de sinéresis es mayor a 42 por ciento, se dice que la formación de la estructura del gel no es muy buena, lo cual se puede deber a ciertos factores como la reducción de grasa o la adición de minerales. Claramente en este estudio hubo reducción de los niveles de grasa (1, 2 y 3 por ciento) y adición de calcio y fibra, lo cuál provocó que el porcentaje de sinéresis se incrementara, debido más a la adición de fibra que de calcio, esto es porque los sistemas adicionados con 1g de fibra tienen mayor porcentaje de sinéresis.

Además hay un importante incremento de este fenómeno debido al porcentaje de grasa, debido a que el porcentaje es mayor conforme el porcentaje de grasa aumenta (3 por ciento), también se observó un mayor porcentaje de sinéresis en los sistemas adicionados con linaza mexicana, el incrementó en cuanto a grasa puede deberse a una mala homogeneización de la leche, que se refleja en el aumento de sinéresis.

Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento el porcentaje de sinéresis también aumentó, el rompimiento del gel ocasionó una menor retención de agua en la estructura del yogurt, provocando altos porcentajes de sinéresis.

De acuerdo al análisis de varianza se puede observar que hay diferencia a la semana 0, esto es por la composición de los sistemas, además la adición de fibra influyó en el porcentaje de sinéresis debido a que los sistemas que tuvieron diferencia significativa estadísticamente son los que contenían mayor contenido de fibra (1g). Por lo tanto el nivel de fibra afectó la estabilidad del yogurt.

También se observó diferencia estadística en cuanto a la grasa y al tipo de fibra debido a que al aumentar el porcentaje de grasa y al adicionar linaza mexicana, se incrementa la sinéresis.

Finalmente con respecto al efecto del tiempo de almacenamiento sobre el % de sinéresis si se observó diferencia.

6.3.4 Color

Los parámetros de color (L, a, b) de la escala Hunter para el yogurt control se muestran en las Figuras 25 a 27.

El parámetro L (Figura 25) demuestra que dicho porcentaje es mayor conforme aumenta la cantidad de grasa, el parámetro a (Figura 26) es menor en yogurt con porcentaje de grasa menor (1 por ciento) y viceversa, este parámetro se mantiene constante a lo largo del almacenamiento, finalmente el parámetro b (Figura 26) es constante a lo largo del tiempo, sin variaciones.

Las Figuras (28-35) muestran los parámetros de color (L, a, b) de la escala Hunter de yogurt enriquecido con fibra y calcio.

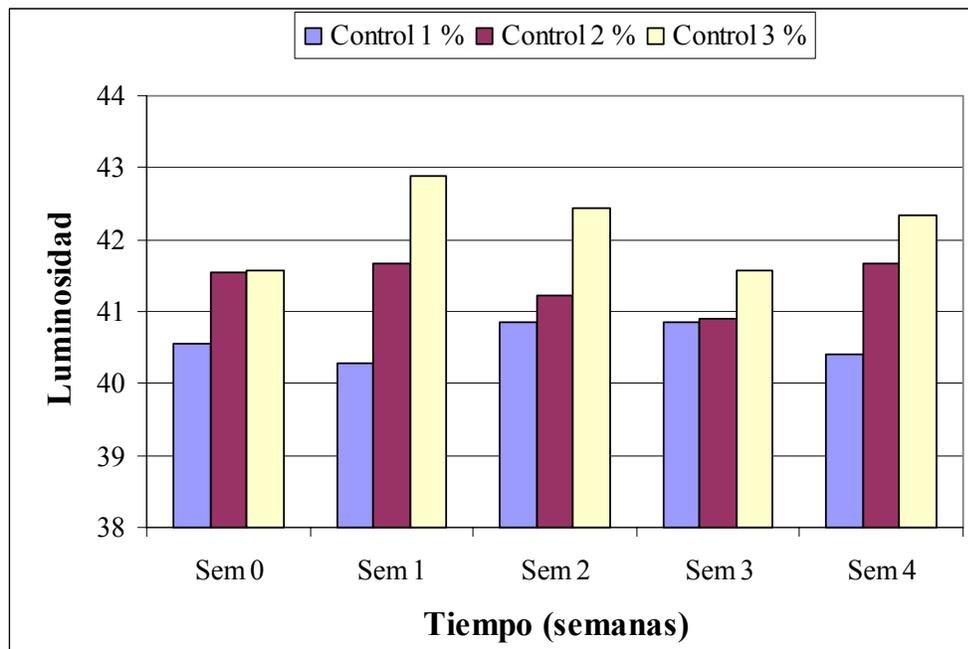


Figura 25. Luminosidad promedio de sistemas control 1, 2 y 3 por ciento de grasa durante el almacenamiento a 5 °C.

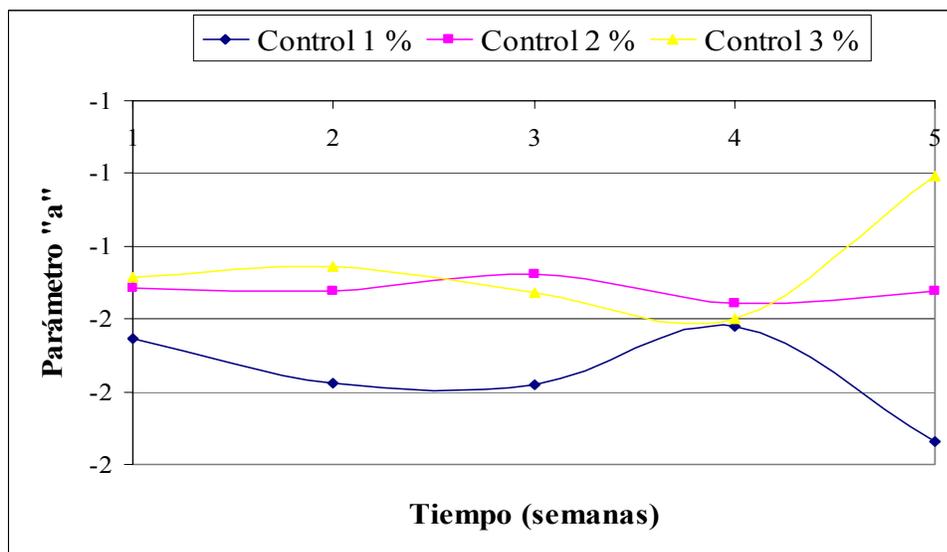


Figura 26. Parámetro a promedio de sistemas control 1, 2 y 3 por ciento de grasa durante el almacenamiento a 5 °C.

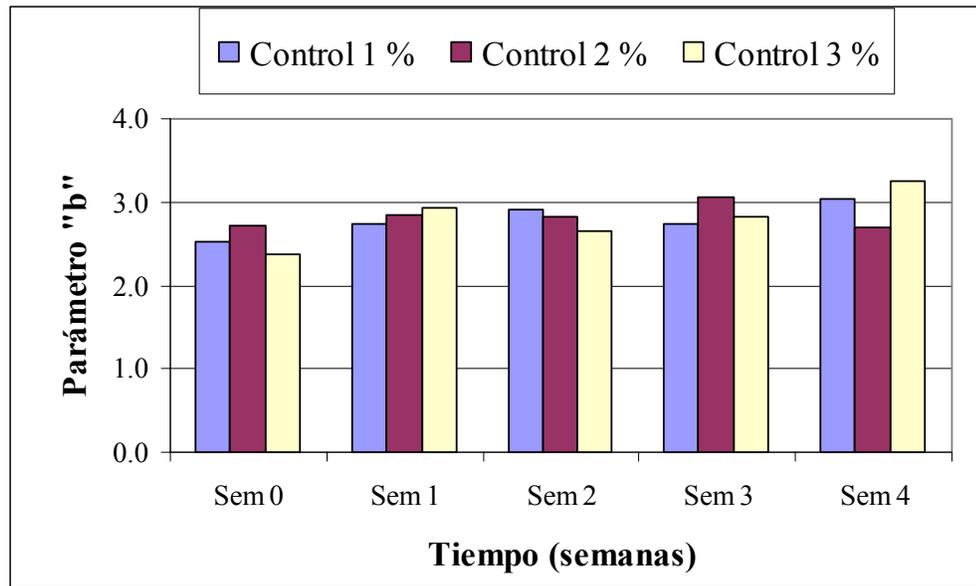


Figura 27. Parámetro b promedio de sistemas control 1, 2 y 3 por ciento de grasa durante el almacenamiento a 5 °C.

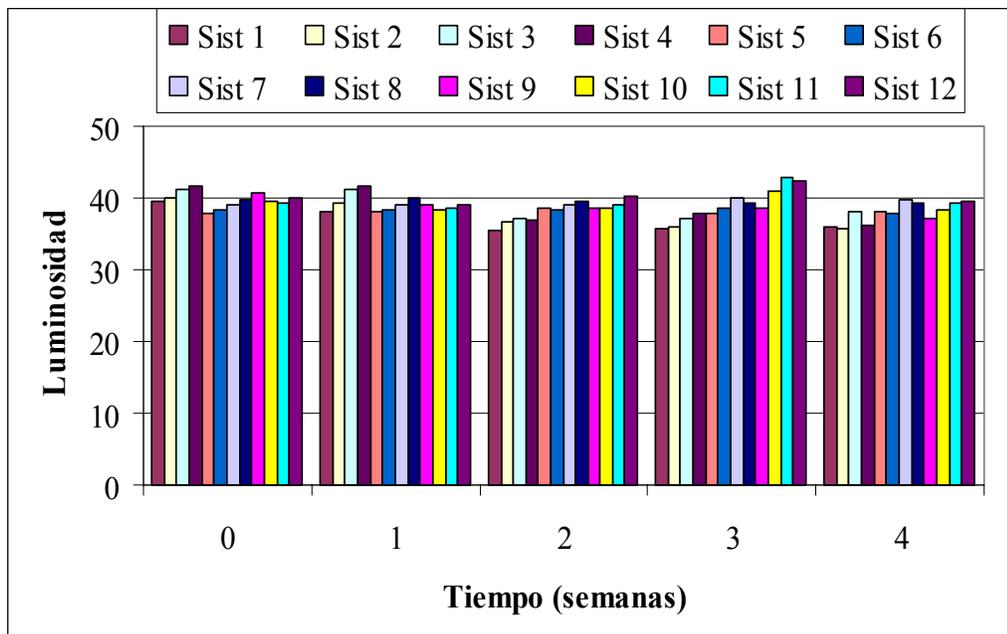


Figura 28. Variación de luminosidad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt enriquecidos con linaza canadiense como fuente de fibra.

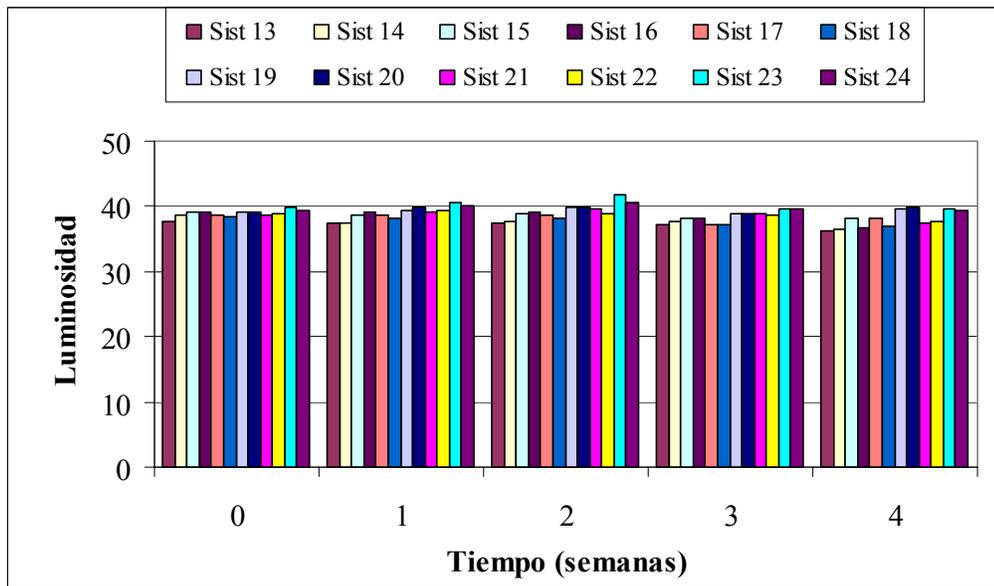


Figura 29. Variación de luminosidad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt enriquecidos con linaza mexicana como fuente de fibra.

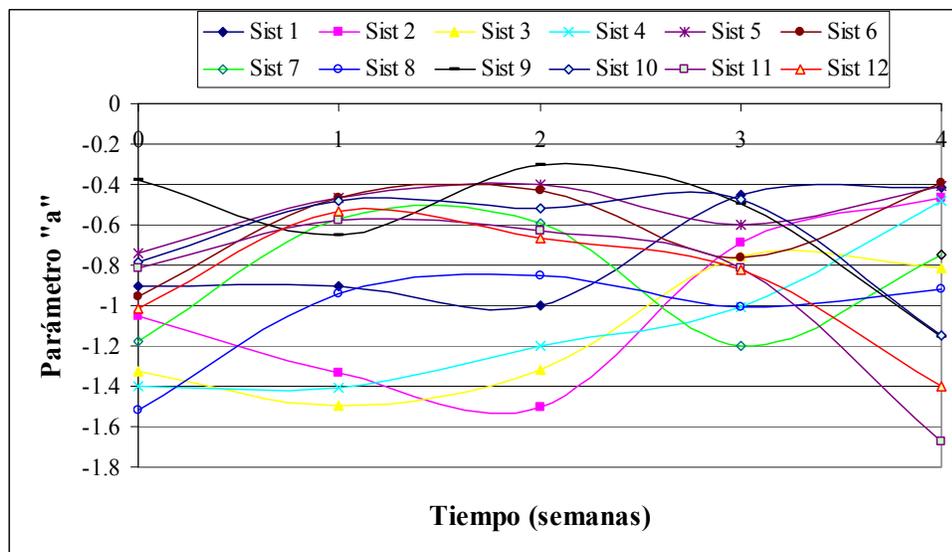


Figura 30. Variación del parámetro a promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza canadiense como fuente de fibra.

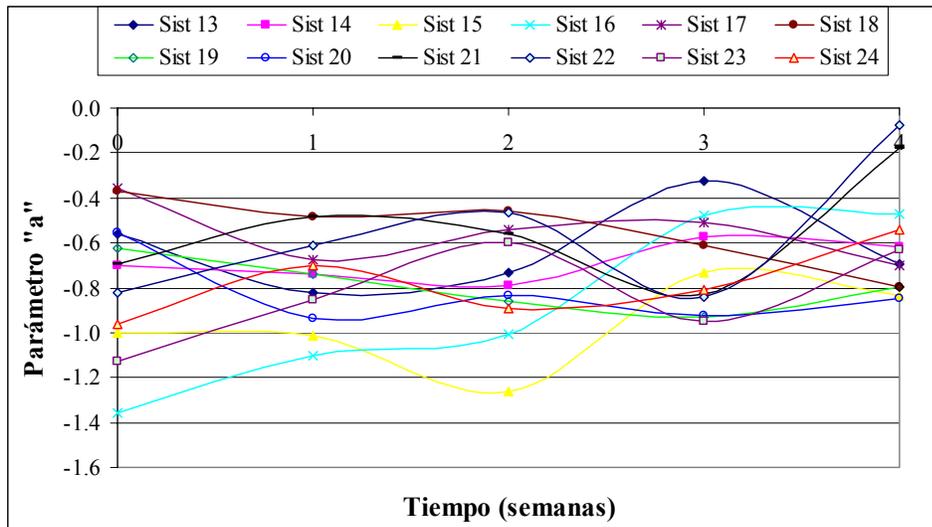


Figura 31. Variación del parámetro a promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza mexicana como fuente de fibra.

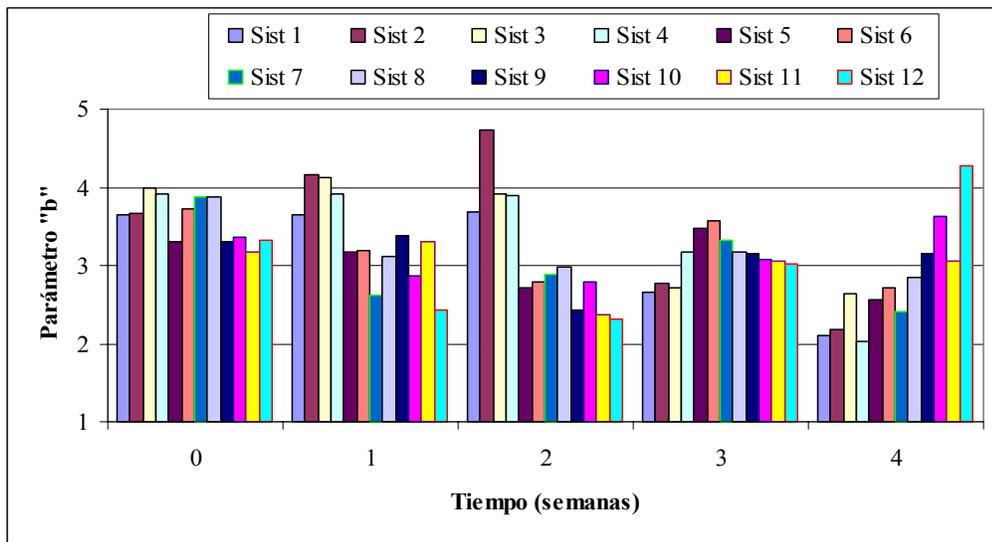


Figura 32. Variación del parámetro b promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza canadiense como fuente de fibra.

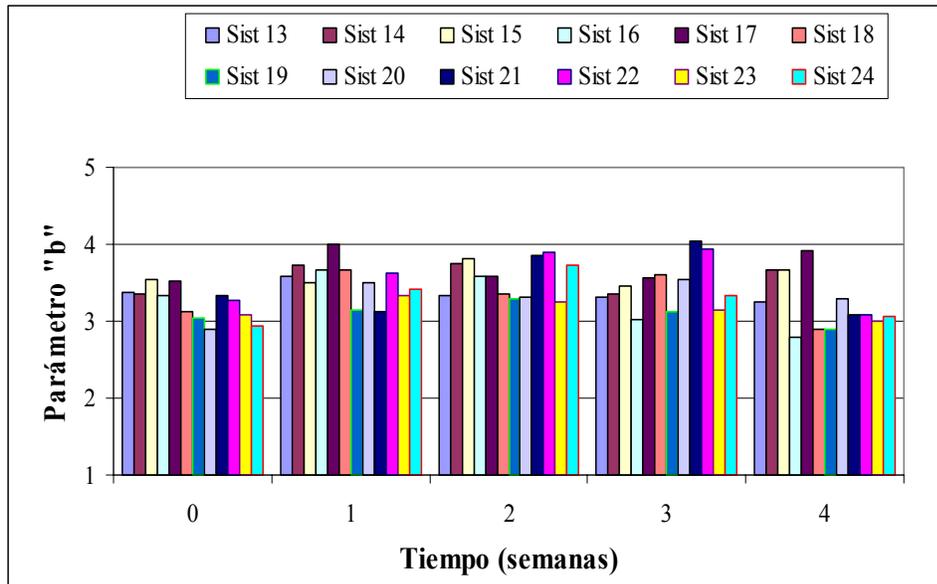


Figura 33. Variación del parámetro b promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza mexicana como fuente de fibra.

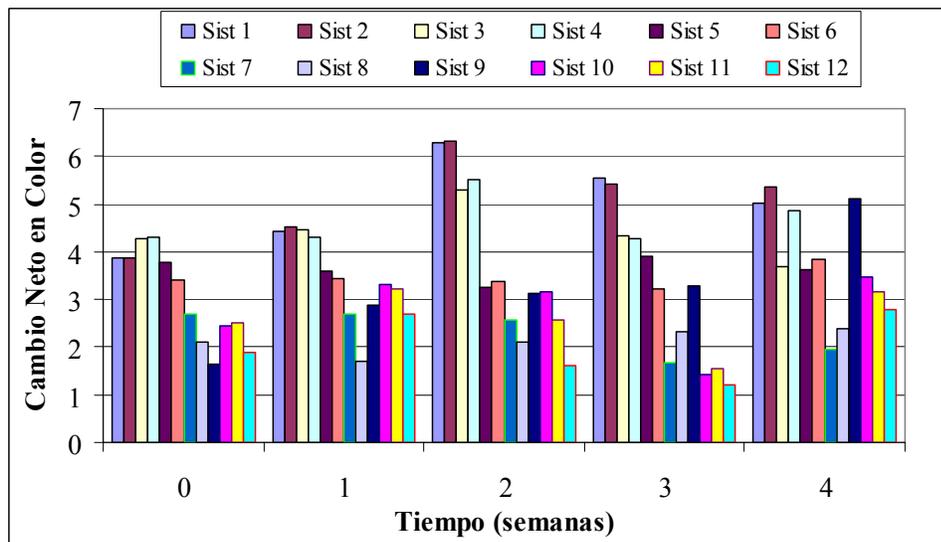


Figura 34. Variación del cambio neto en color, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza canadiense como fuente de fibra.

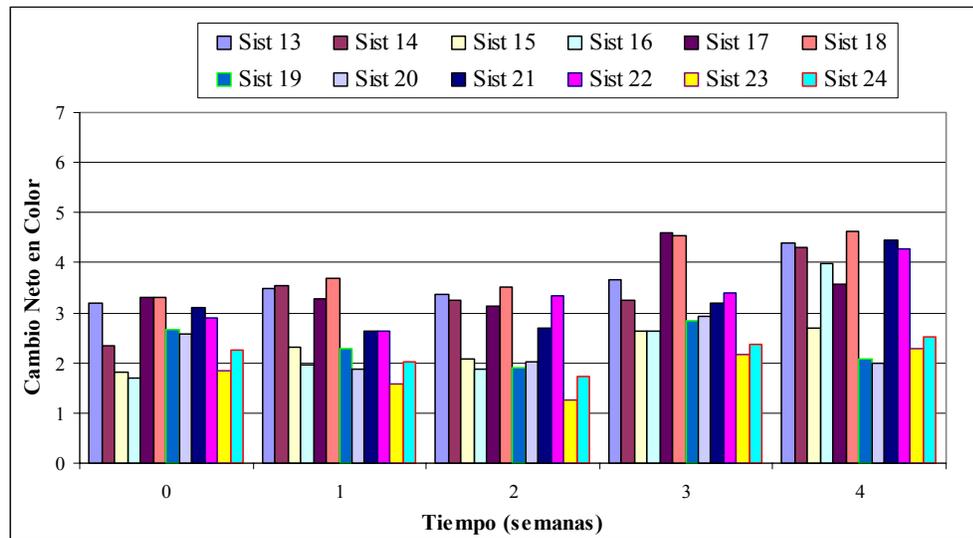


Figura 35. Variación del cambio neto en color, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con linaza mexicana como fuente de fibra.

La Luminosidad es uno de los parámetros del yogurt que se ve más afectado, esto es debido a la adición de fibra, siendo que este parámetro va disminuyendo en sistemas con mayor contenido de fibra.

El parámetro a tiende a aumentar conforme se adiciona más fibra, mientras que el parámetro b presenta disminución en algunos sistemas pero en otros no, se observa que hay un ligero incremento de este parámetro, el incremento y descenso ocurre al final del almacenamiento en todos los sistemas.

Finalmente el cambio neto en color aumentó en sistemas enriquecidos con más fibra.

En el estudio de Drake *et al.*, (2000), observaron que el color percibido por los panelistas incremento con la adición de proteína de soya; además reportaron que el parámetro de luminosidad disminuyó con el tiempo, así como el parámetro a y la diferencia de color total (ΔE).

Lee *et al.*, (1990), reportaron disminución de los valores de luminosidad de yogures de soya comparados con yogures lácteos. La proteína de soya es un polvo de color oscuro que provoca que la luminosidad y el parámetro a disminuyan con el tiempo, estos cambios fueron percibidos por los panelistas en un análisis sensorial, el incremento en el color oscuro puede deberse a una reacción de Maillard durante el almacenamiento.

En este trabajo se comprobó que el parámetro más afectado fue la luminosidad debido a que disminuye durante el almacenamiento, atribuido a la adición de fibra que presenta una coloración oscura y provoca que con el tiempo de almacenamiento se oscurezca el yogurt.

El análisis de varianza de estos parámetros indicó que hay diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) en los sistemas en cuanto a la luminosidad debido a que los sistemas con 1 por ciento de grasa enriquecidos con linaza mexicana son ligeramente más oscuros que los enriquecidos con linaza canadiense, los cuales son afectados a través del periodo de almacenamiento. Sin embargo este efecto no es notorio en sistemas con 2 y 3 por ciento de grasa, tampoco hay diferencia de éstos con respecto al tipo de linaza empleada, por lo que se puede considerar que la luminosidad es casi constante con respecto al tiempo en sistemas con 2 y 3 por ciento de grasa.

La adición de fibra sobre el parámetro a tuvo efecto estadísticamente significativo ($\alpha = 0.05$), en cuanto al contenido adicionado (0.5 y 1g), debido a que el parámetro es mayor al adicionar más fibra.

El parámetro b tuvo efecto estadísticamente significativo ($\alpha = 0.05$), debido a que tiende a disminuir con el tiempo, además es mayor en sistemas enriquecidos con linaza canadiense.

6.3.5 Humedad

Como se esperaba el porcentaje de humedad (Figuras 36 - 41) en la mayoría de los sistemas mostró poca variación, en un rango de 84.2 a 87.7 por ciento en sistemas con 1 por ciento de grasa y linaza canadiense y de 82 a 87 para sistemas 1 por ciento grasa y linaza mexicana, de 83 a 86.2 por ciento en sistemas con 2 por ciento de grasa y linaza canadiense y de 83 a 85.8 en sistemas 2 por ciento grasa y linaza mexicana y de 82 a 85 por ciento en sistemas con 3 por ciento de grasa linaza canadiense y mexicana. Inclusive se puede pensar que algunas de las variaciones observadas se deban a la falta de precisión del método.

Las variaciones de humedad se deben a la adición de fibra en los sistemas, las figuras reflejan que a menor contenido de linaza (fibra), mayor es el contenido de humedad, debido a que el yogurt contiene menos sólidos.

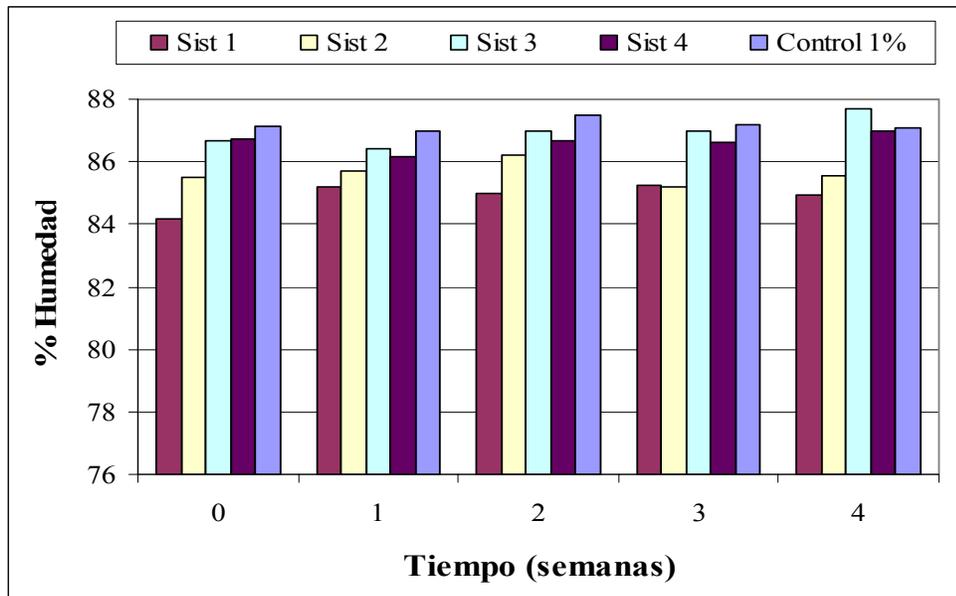


Figura 36. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

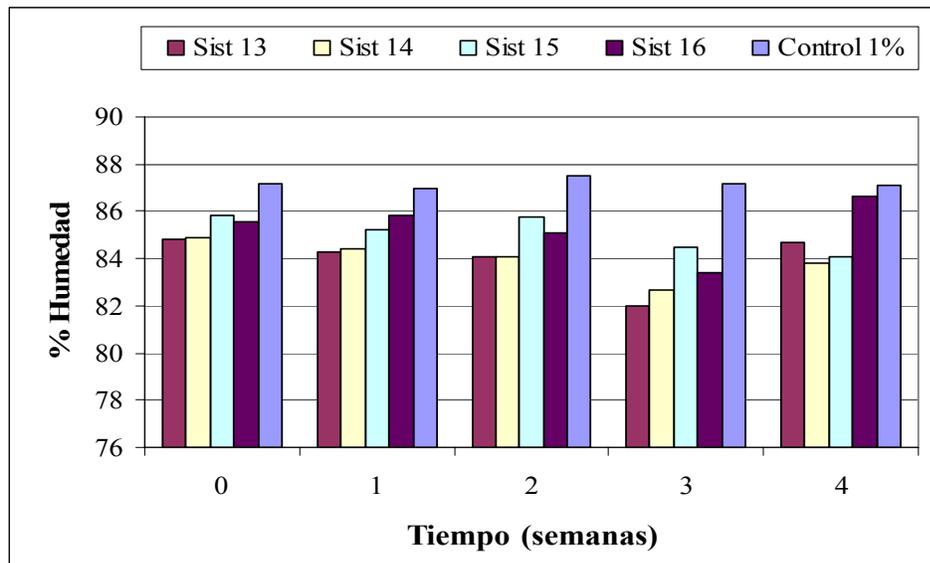


Figura 37. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 1 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

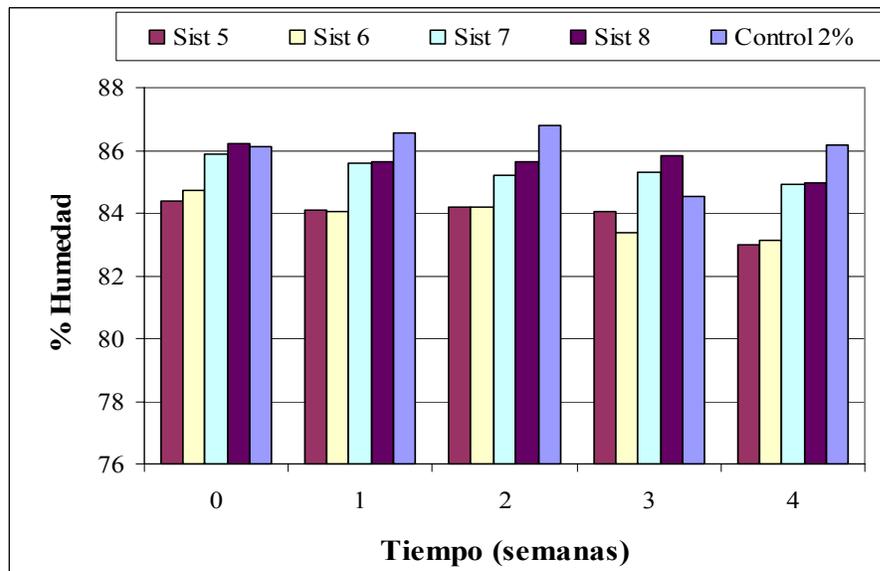


Figura 38. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

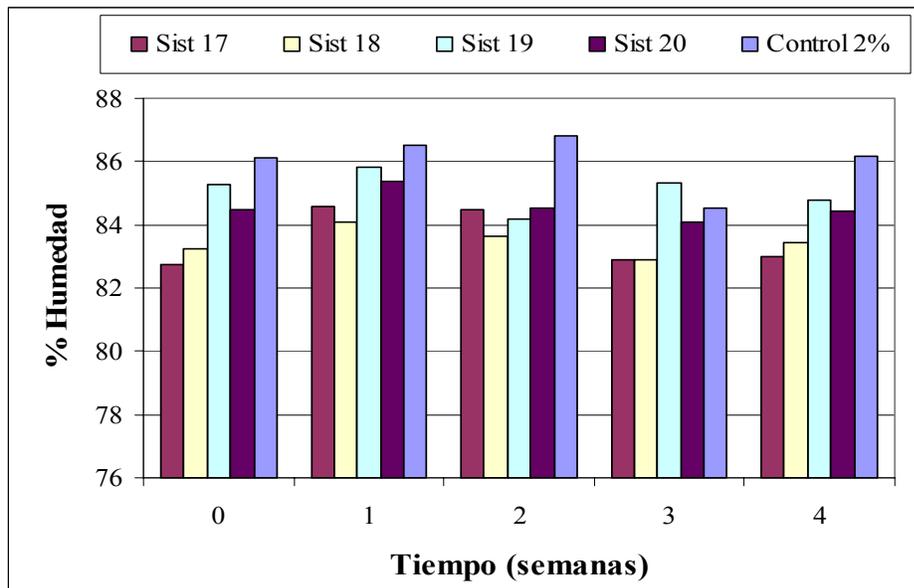


Figura 39. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 2 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

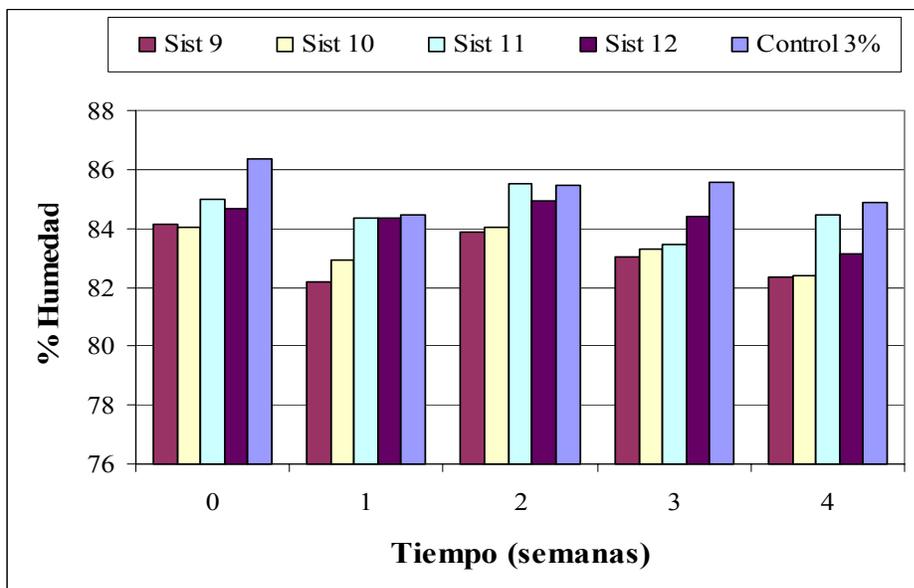


Figura 40. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza canadiense como fuente de fibra.

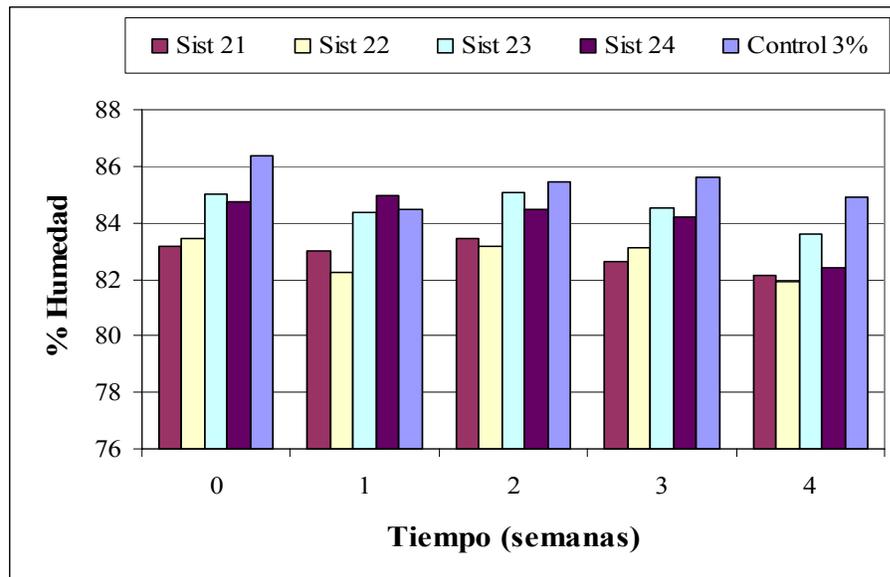


Figura 41. Variación del porcentaje de humedad promedio, durante el almacenamiento a 5 °C en sistemas de yogurt con 3 por ciento de grasa y linaza mexicana como fuente de fibra.

El análisis de varianza, reflejó que hay diferencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0.05$) con respecto a sistemas enriquecidos con menor contenido de fibra y al menor contenido de grasa (1 por ciento) debido a que la humedad es mayor. Con respecto al tiempo de almacenamiento el análisis reflejó que la mayoría de los sistemas no presentan diferencia significativa, como era lo previsto.

6.3.6 Densidad

Los valores de densidad obtenidos en este estudio se observan en los Cuadros XIV, XV y XVI, la densidad es un parámetro que permanece constante durante toda la vida útil del yogurt, de acuerdo a lo reportado por Del Fabbro (2001), Alatraste (2002), Diaz (2002) y Aportela (2003). Razón por la cuál la densidad solo se determinó al tiempo 0.

Los valores de densidad obtenidos fueron del rango de 1000 a 1050 kg/m³,

Cuadro XIV. Densidad (kg/m^3) de sistemas con 1 por ciento de grasa

	Tiempo	
Sistema	(semana)	Promedio
Ctrol 1%	0	1045
1	0	1044
2	0	1044
3	0	1041
4	0	1048
13	0	1049
14	0	1021
15	0	1015
16	0	1011

Cuadro XV. Densidad (kg/m^3) de sistemas con 2 por ciento de grasa

	Tiempo	
Sistema	(semana)	Promedio
Ctrol 2%	0	1019
5	0	1039
6	0	1047
7	0	1000
8	0	1055
17	0	1019
18	0	1005
19	0	1022
20	0	1028

Cuadro XVI. Densidad (kg/m³) de sistemas con 3 porciento de grasa

	Tiempo	
Sistema	(semana)	Promedio
Ctrol 3%	0	1025
9	0	1048
10	0	1040
11	0	1019
12	0	1000
21	0	1023
22	0	1040
23	0	1028
24	0	1038

Al ser una propiedad que se mantiene constante, el análisis de varianza reflejó que no existe diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) de los sistemas estudiados, es decir, ninguno de los factores de composición (tipo y nivel de fibra, calcio y grasa) generó cambios en la densidad.

6.3.7 Fibra cruda

Estudios como el de Díaz (2002) y Alatraste (2002), reportan que el porcentaje de fibra no cambia durante el almacenamiento, lo cuál es de esperarse, debido a que es un sólido suspendido en el yogurt y que no es consumido por los microorganismos lácticos, ni tampoco sufre cambios bioquímicos.

El porcentaje de fibra es un parámetro que al igual que otros, como porcentaje de proteína y porcentaje de grasa permanece constante, razón por la cuál solo se determinó al inicio (semana 0) y al tiempo 3 (semana 3).

Los valores obtenidos (Cuadros XVII, XVIII y XIX) varían un poco en cuanto al porcentaje adicionado, esto pudo deberse a varias causas: una a que durante la prueba se perdiera un poco de muestra, o bien a que el producto no se haya homogeneizado bien y solo se tomara una cantidad de muestra con poca fibra, lo que provoca que en muchos casos exista mayor o menor contenido de fibra. Básicamente es una variación de carácter experimental.

Cuadro XVII. Porcentaje de Fibra cruda en sistemas con 1 por ciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% Fibra Experimental	% Fibra Esperado
1	0	0.955	1
	3	0.934	1
2	0	0.950	1
	3	0.952	1
3	0	0.517	0.5
	3	0.490	0.5
4	0	0.512	0.5
	3	0.504	0.5
13	0	1.005	1
	3	1.047	1
14	0	1.023	1
	3	1.054	1
15	0	0.501	0.5
	3	0.504	0.5
16	0	0.503	0.5
	3	0.506	0.5

Cuadro XVIII. Porcentaje de Fibra cruda en sistemas con 2 porciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% Fibra Experimental	% Fibra Esperado
5	0	0.927	1
	3	0.939	1
6	0	0.962	1
	3	1.017	1
7	0	0.490	0.5
	3	0.510	0.5
8	0	0.532	0.5
	3	0.533	0.5
17	0	1.006	1
	3	1.029	1
18	0	1.008	1
	3	1.003	1
19	0	0.505	0.5
	3	0.508	0.5
20	0	0.508	0.5
	3	0.502	0.5

Cuadro XIX. Porcentaje de Fibra cruda en sistemas con 3 porciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% Fibra Experimental	% Fibra Esperado
9	0	1.058	1
	3	1.094	1
10	0	1.100	1
	3	1.100	1
11	0	0.489	0.5
	3	0.640	0.5
12	0	0.595	0.5
	3	0.583	0.5
21	0	1.009	1
	3	1.003	1
22	0	1.005	1
	3	1.010	1
23	0	0.503	0.5
	3	0.499	0.5
24	0	0.502	0.5
	3	0.503	0.5

Como era de esperarse, el análisis de varianza reflejó que no existe efecto significativo ($\alpha = 0.05$) de ningún factor de composición en el porcentaje de fibra adicionado, ni tampoco hay diferencia con respecto a las semanas de medición (semana 0 y 3).

6.3.8 Calcio

Las lecturas proporcionadas por el equipo arrojaron concentraciones de calcio similares a las obtenidas por el balance de materia, donde se obtuvieron los mg de Ca por cada 100 mL de yogurt en base a lo reportado en la etiqueta de la leche, considerando la cantidad adicionada del citrato de calcio y tomando en cuenta también las mediciones que se le hicieron a la linaza canadiense y mexicana (Cuadros XX, XXI y XXII).

La medición de esta prueba se realizó a un sólo tiempo (Semana 0), debido a que la cantidad de calcio permanece constante durante el almacenamiento (Del Fabbro 2001, Alatraste 2002 y Aportela 2003), debido a que es un elemento que no tiene porque sufrir transformaciones.

Cuadro XX. Datos obtenidos de la determinación de calcio de yogurt 1 porciento grasa.

Sistema	Experimental mg/100 mL	Esperado mg/100 mL
Control 1%	218.953	225.424
1	283.112	285.424
2	331.798	335.424
3	274.592	280.424
4	327.142	330.424
13	277.964	278.424
14	325.133	328.424
15	271.102	276.924
16	325.079	326.924

Cuadro XXI. Datos obtenidos de la determinación de calcio de yogur 2 por ciento grasa.

Sistema	Experimental mg/100 mL	Esperado mg/100 mL
Control 2% grasa	157.468	161.225
5	219.825	221.225
6	270.342	271.225
7	211.384	216.225
8	259.395	266.225
17	213.776	214.225
18	260.38	264.225
19	211.545	212.725
20	260.362	262.725

Cuadro XXII. Datos obtenidos de la determinación de calcio de yogur 3 por ciento grasa.

Sistema	Experimental mg/100 mL	Esperado mg/100mL
Control 3% grasa	114.214	120.000
9	174.214	180.000
10	224.432	230.000
11	169.371	175.000
12	224.439	225.000
21	167.837	173.000
22	217.496	223.000
23	165.152	171.500
24	217.836	221.500

Como se observa la cantidad de calcio adicionada al yogurt es buena y se puede decir que al consumir éste yogurt se cubre una parte importante de la IDR para la nutrición de las personas. Además se puede observar que el producto fue enriquecido en más de un 75 por ciento en comparación de los controles.

6.3.9 Grasa

El porcentaje de grasa que se manejó en este trabajo fue de 1, 2 y 3 % de grasa, el porcentaje de grasa para un yogurt con características de calidad propia debe ser 3.5 % (Industry Innovation, 1995), con ello se obtiene un yogurt firme de buena consistencia.

Los porcentajes de grasa de los diferentes sistemas se observan en los Cuadros XXIII, XXIV y XXV .

Drake *et al.*, (2000), reportan que el porcentaje de grasa de yogures adicionados con proteína de soya no difiere a través de almacenamiento, el cual fue de cuatro semanas a temperatura de 5 °C y como podemos observar en este trabajo el porcentaje de grasa con respecto al tiempo de almacenamiento no cambió. Lo que indica no está implicada en ningún cambio bioquímico.

La categoría de yogurt “light” tiene una gran demanda por parte del consumidor en el mercado de Estados Unidos, debido a que el consumidor exige productos que ofrezcan beneficios a la salud, estos yogures son bajos en grasa, bajos en calorías y en muchos casos contienen edulcorantes no calóricos. King *et al.*, (2000) estudiaron el efecto del aspartame y grasa en las características de sabor de yogurt, encontraron que los parámetros estudiados no se afectan a lo largo del tiempo de almacenamiento y que en muchos casos se prefiere sólo yogurt bajo en grasa, sin aspartame debido a que en altas o bajas concentraciones se percibe una alta acidez y un sabor amargo. En este trabajo los bajos niveles de grasa afectaron en cuanto a la preferencia del consumidor, ya que al contener menor cantidad de grasa (1 por ciento) el consumidor lo rechazó.

Por lo anterior es importante generar productos como el elaborado en este trabajo, los cuales aportan un beneficio a la salud del consumidor, pero que además entren dentro de sus preferencias.

Como era de esperarse, el análisis de varianza reflejó que no existe efecto significativo ($\alpha = 0.05$) de ningún factor de composición en el porcentaje de grasa, ni tampoco con respecto al tiempo de almacenamiento con respecto a las semanas de medición (semana 0 y 2).

Cuadro XXIII. Porcentaje de Grasa en sistemas con 1 por ciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% grasa experimental	% grasa esperado
Ctrol 1%	0	1.030	
	2	1.033	1.000
1	0	1.071	
	2	1.021	1.064
2	0	1.065	
	2	1.097	1.064
3	0	1.015	
	2	1.018	1.032
4	0	1.034	
	2	1.028	1.032
13	0	1.082	
	2	1.072	1.051
14	0	1.080	
	2	1.060	1.051
15	0	1.034	
	2	1.038	1.026
16	0	1.046	
	2	1.028	1.026

Cuadro XXIV. Porcentaje de Grasa en sistemas con 2 por ciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% grasa experimental	% grasa esperado
Ctrol 2%	0	2.013	
	2	2.006	2.000
5	0	2.076	
	2	2.087	2.064
6	0	2.075	
	2	2.064	2.064
7	0	2.017	
	2	2.019	2.032
8	0	2.029	
	2	2.002	2.032
17	0	2.073	
	2	2.072	2.051
18	0	2.071	
	2	2.078	2.051
18	0	2.041	
	2	2.038	2.026
20	0	2.039	
	2	2.038	2.026

Cuadro XXV. Porcentaje de Grasa en sistemas con 3 porciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% grasa experimental	% grasa esperado
Ctrol 3%	0	3.006	
	2	3.002	3.000
9	0	3.057	
	2	3.058	3.064
10	0	3.065	
	2	3.068	3.064
11	0	3.030	
	2	3.012	3.032
12	0	3.035	
	2	3.037	3.032
21	0	3.062	
	2	3.070	3.051
22	0	3.075	
	2	3.070	3.051
23	0	3.020	
	2	3.036	3.026
24	0	3.032	
	2	3.039	3.026

6.3.10 Proteína

Los porcentajes de proteína obtenidos se muestran en los Cuadros XXVI, XXVII y XXVIII, básicamente es constante en la mayoría de los sistemas.

Bruhn y Franke (1988) determinaron las concentraciones de proteína y cationes (calcio, potasio, magnesio y sodio) en yogurt y encontraron porcentajes promedio de 4.5 por ciento y concentraciones promedio de calcio de 152.1 mg/100 g, en este trabajo los porcentajes promedio de proteína encontrados fueron 4.3, esto debido al tipo de leche empleada, sin embargo el porcentaje encontrado es bueno, debido a que es un producto con un alto valor nutricional.

Por otro lado Posati y Orr (1976), reportaron concentraciones de proteína de 5.04 a 5.46 por ciento de muestras de yogurt bajo en grasa. Ambos estudios reportaron que obtuvieron variaciones de las concentraciones debidas los procesos de manejo.

Sin embargo en este trabajo no se observaron diferencias de medición y los valores encontrados son altos (3.3 a 4.3 por ciento).

Como era de esperarse, el análisis de varianza reflejó que no existe efecto significativo ($\alpha = 0.05$) de ningún factor de composición en el porcentaje de proteína, ni con respecto al almacenamiento.

Cuadro XXVI. Porcentaje de Proteína en sistemas con 1 por ciento grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% proteína experimental	% proteína esperado
Ctrol 1%	0	4.047	
	2	4.069	4.062
1	0	4.309	
	2	4.266	4.301
2	0	4.309	
	2	4.353	4.301
3	0	4.156	
	2	4.156	4.051
4	0	4.156	
	2	4.158	4.051
13	0	4.375	
	2	4.375	4.301
14	0	4.375	
	2	4.375	4.301
15	0	4.244	
	2	4.200	4.051
16	0	4.244	
	2	4.200	4.051

Cuadro XXVII. Porcentaje de Proteína en sistemas con 2 porciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% grasa experimental	% grasa esperado
Ctrol 2%	0	3.806	
	2	3.817	3.814
5	0	4.069	
	2	4.047	4.102
6	0	4.069	
	2	4.047	4.102
7	0	3.938	
	2	3.916	3.958
8	0	3.938	
	2	3.938	3.958
17	0	4.113	
	2	4.069	4.102
18	0	4.091	
	2	4.113	4.102
18	0	3.938	
	2	3.938	3.958
20	0	3.938	
	2	3.938	3.958

Cuadro XXVIII. Porcentaje de Proteína en sistemas con 3 por ciento de grasa

Sistema	Tiempo (semanas)	% grasa experimental	% grasa esperado
Ctrol 3%	0	3.391	
	2	3.347	3.341
9	0	3.566	
	2	3.544	3.630
10	0	3.544	
	2	3.544	3.630
11	0	3.347	
	2	3.391	3.485
12	0	3.478	
	2	3.478	3.485
21	0	3.631	
	2	3.631	3.630
22	0	3.609	
	2	3.631	3.630
23	0	3.500	
	2	3.500	3.485
24	0	3.500	
	2	3.500	3.485

6.3.11 Propiedades Reológicas

En las Figuras 42-44, se muestra el comportamiento reológico de sistemas de yogurt control y de las Figuras 45-47 se muestra los de sistemas enriquecidos con fibra y calcio.

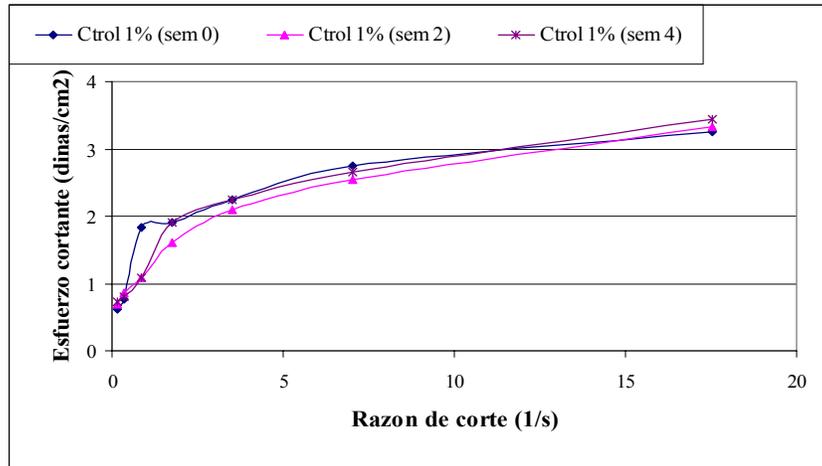


Figura 42. Reograma de control 1 por ciento grasa, durante el almacenamiento a 5° C

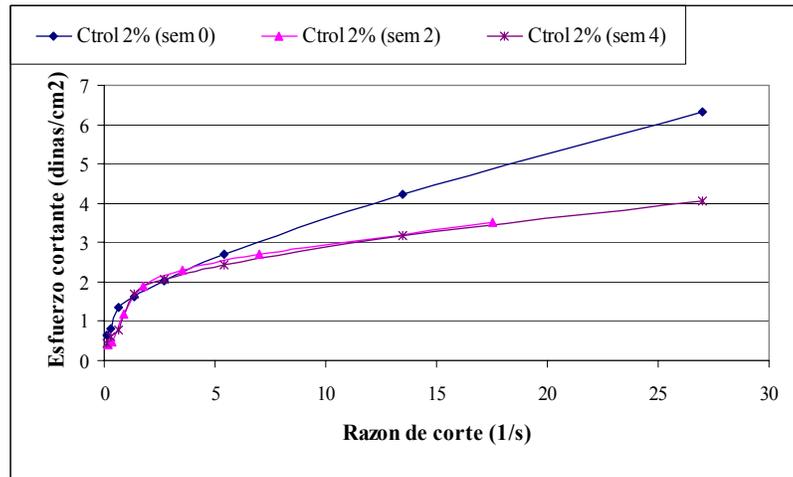


Figura 43. Reograma de control 2 por ciento grasa, durante el almacenamiento a 5° C

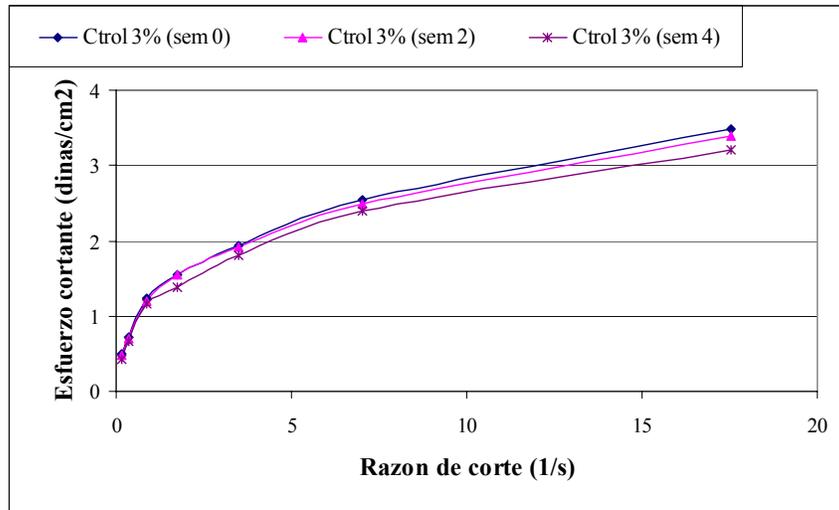


Figura 44. Reograma de control 3 porciento grasa, durante el almacenamiento a 5° C

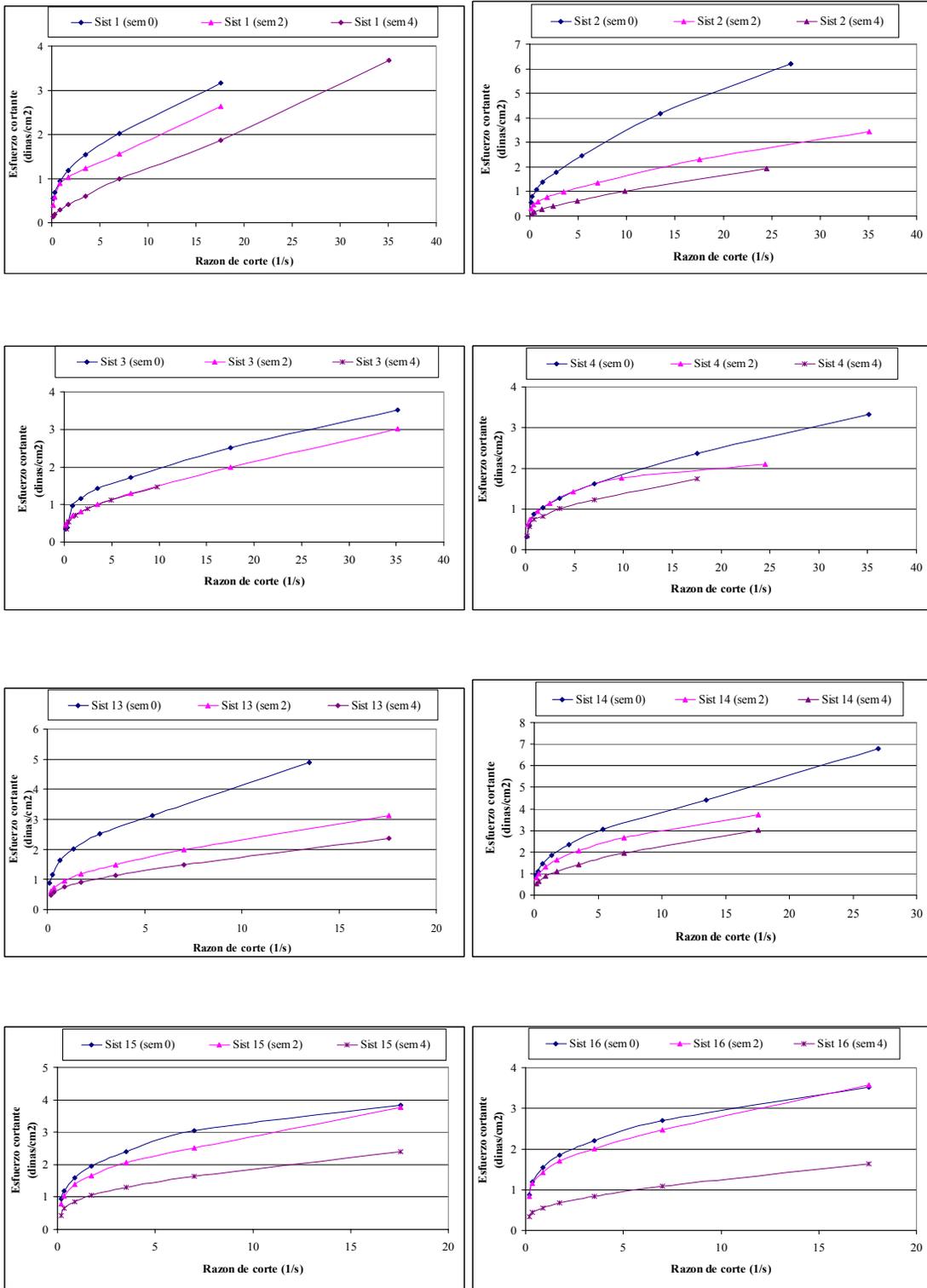


Figura 45. Reogramas de yogurt 1 por ciento grasa, durante el almacenamiento a 5 °C

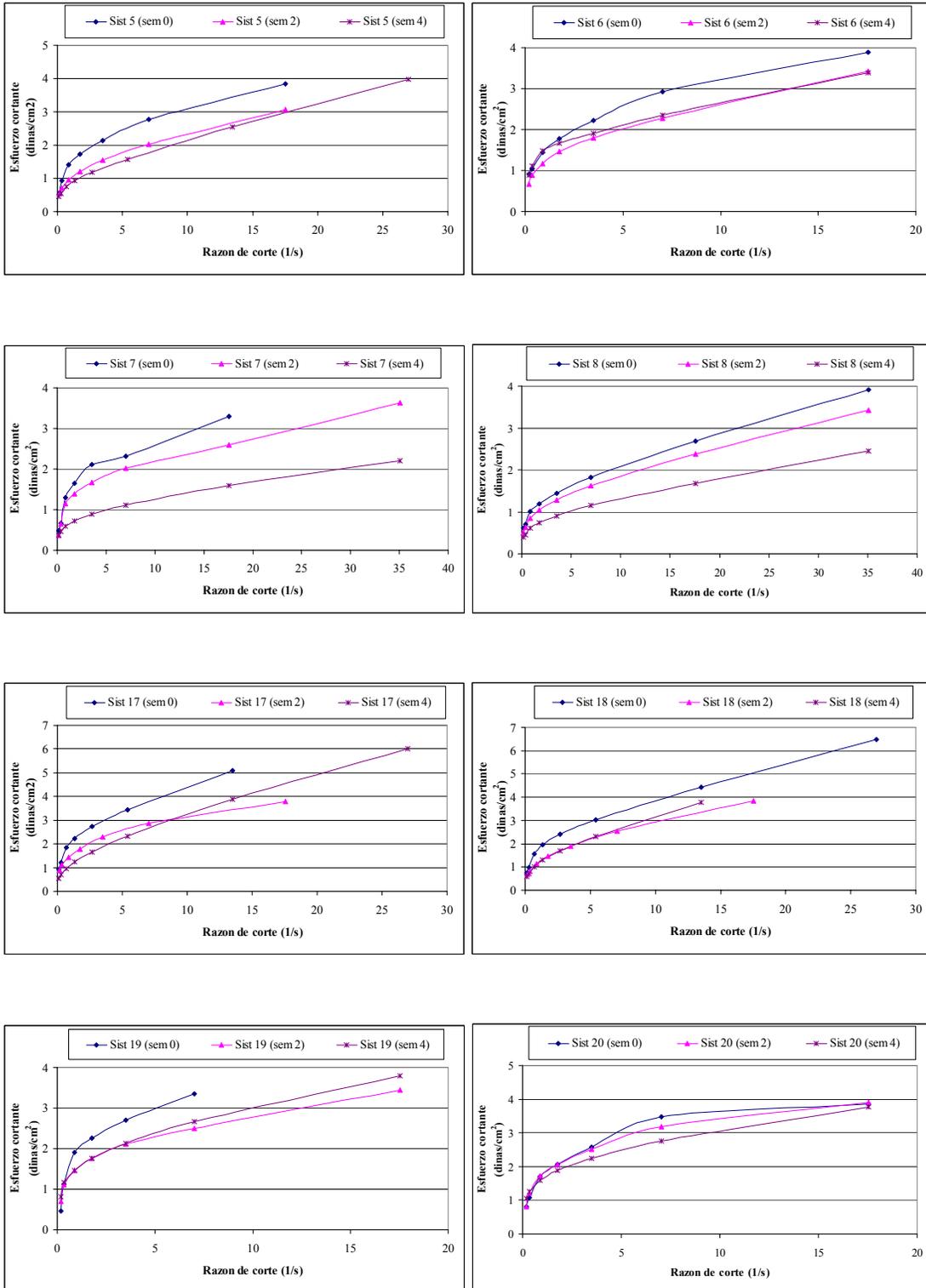


Figura 46. Reogramas de yogurt 2 porciento grasa, durante el almacenamiento a 5 °C

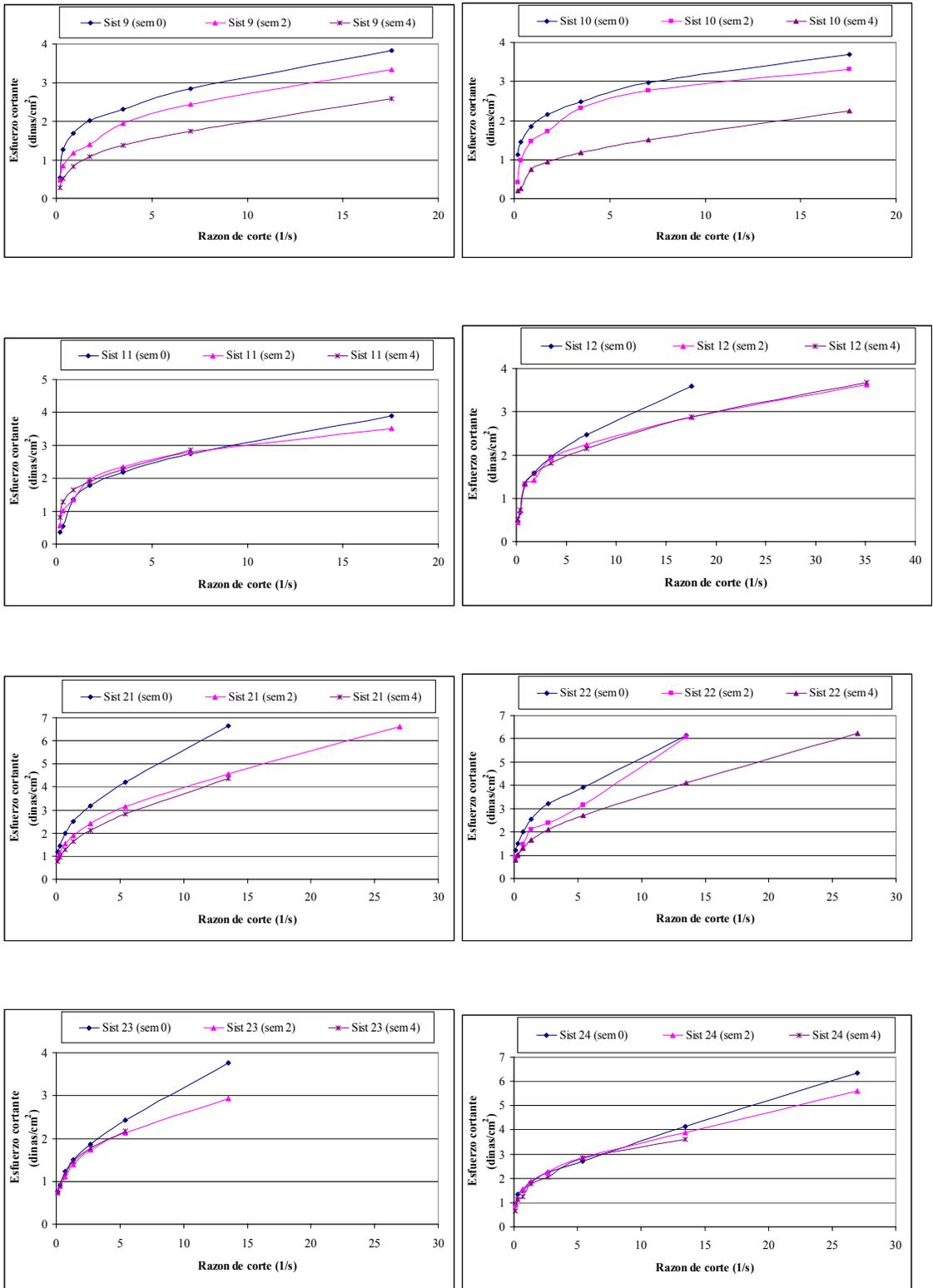


Figura 47. Reogramas de yogurt 3 por ciento grasa, durante el almacenamiento a 5 °C

Uno de los atributos de calidad más apreciados del yogurt es la textura, a través de su consistencia y comportamiento al ser agitado. En el presente trabajo se estudio la caracterización reológica del flujo de yogurt por medio de dos modelos matemáticos, para determinar el valor de los parámetros de flujo que lo definen.

En la mayoría de los trabajos sobre reología de yogurt se ha usado el modelo de Herschel–Bulkley principalmente, para cuantificar los parámetros reológicos. Sin embargo en este trabajo se empleó además del ya mencionado el modelo de la Ley de Potencia.

La naturaleza reológica del yogurt estudiado (Figuras 45, 46 y 47) se debió a la pérdida de firmeza del gel, debido a que como ya se mencionó, el yogurt elaborado fue de tipo batido, lo cuál provocó que con el tiempo el gel perdiera firmeza y consistencia, además se generó un desprendimiento del suero lo cuál provocó que la viscosidad disminuyera con el tiempo de almacenamiento.

Según Schelhaas y Morris (1985) en la caracterización reológica de yogurt han demostrado que el yogurt es un fluido que exhibe un comportamiento no Newtoniano de tipo pseudoplástico con un esfuerzo de cedencia y que los modelos que mejor describen este comportamiento son el de Casson y el de Herschel-Bulkley.

Los reogramas de los diferentes sistemas de yogurt adicionados con fibra y calcio, reflejan un comportamiento no Newtoniano de tipo pseudoplástico y como se puede apreciar, la curva superior corresponde a la semana 0 mientras que la inferior corresponde a la semana 4.

Ramaswamy y Basak (1992) estudiaron a través del modelo de Herschel-Bulkley los efectos en la reología de yogurt comercial batido adicionado con pectina y concentrado de frambuesa y estudiaron curvas de flujo ascendente y descendente a través del tiempo de almacenamiento.

En este trabajo los sistemas presentaron curvas con flujo descendente, conforme aumento el tiempo de almacenamiento las curvas de flujo fueron disminuyendo.

Skriver *et al.*, (1993), estudiaron las características reológicas de yogurt batido, variando los contenidos de materia, temperatura de fermentación (32 a 43 °C) y composición de cultivos bacterianos (0.02 %), así como diferentes tipos de cultivo, las curvas de flujo se analizaron a un rango de velocidad de giro de 29-920s⁻¹ y un comportamiento pseudoplástico del yogurt, el cuál fue descrito usando el modelo de Herschel-Bulkley y el modelo de Casson.

Los valores de las curvas de flujo obtenidos en sistemas de yogurt enriquecidos con fibra y calcio fueron: razón de corte 0 – 35 s⁻¹ y esfuerzo cortante 0 – 8 dinas/cm².

Drake *et al.*, (2000), reportaron que la viscosidad de yogures adicionados con 2. 5 y 5 % de proteína de soya incrementa con el tiempo de almacenamiento y que presentan altos valores de viscosidad (10000-90000 cp).

Shaker *et al.*, (2000), observaron que la viscosidad depende del porcentaje de grasa en la leche empleada para elaborar yogurt. El incremento en la viscosidad fue detectada en yogures con 3% de grasa, además de que puede deberse al contenido de sólidos totales presentes en el yogurt.

En este trabajo se observó un descenso de las curvas de flujo debidas a la cantidad de fibra presente, ya que fue uno de los factores composicionales que hizo que tanto la consistencia como el flujo disminuyeran a lo largo del almacenamiento, reflejándose en el reograma presentado.

Para el análisis de los parámetros reológicos, índice de flujo (n) y coeficiente de consistencia (K), se aplico el modelo de la Ley de Potencia (Cuadros XIX-XXXI), y el modelo de Herschel-Bulkley (Cuadros XXXII-XXXIV).

Cuadro XXIX. Parámetros reológicos de yogures 1 por ciento grasa, analizados por el modelo Ley de Potencia.

Sistema	Tiempo (semanas)	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol1%	0	0.370	0.135	0.904	15.000	0.340
	2	0.355	0.126	0.991	4.186	0.352
	4	0.367	0.130	0.965	9.114	0.187
1	0	0.375	0.100	0.995	3.662	0.095
	2	0.383	0.082	0.981	7.312	0.110
	4	0.603	0.034	0.982	12.230	0.290
2	0	0.438	0.129	0.988	7.405	0.286
	2	0.438	0.064	0.988	7.388	0.160
	4	0.625	0.024	0.997	4.917	0.058
3	0	0.434	0.078	0.962	12.034	0.147
	2	0.346	0.073	0.972	8.566	0.192
	4	0.369	0.064	0.982	4.992	0.033
4	0	0.403	0.078	0.977	8.537	0.082
	2	0.274	0.090	0.997	1.972	0.039
	4	0.323	0.069	0.963	8.906	0.179
13	0	0.370	0.184	0.995	3.944	0.205
	2	0.350	0.103	0.986	5.710	0.134
	4	0.336	0.081	0.982	6.072	0.113
14	0	0.368	0.175	0.848	6.388	0.341
	2	0.330	0.140	0.997	2.542	0.069
	4	0.381	0.095	0.992	5.099	0.106
15	0	0.306	0.164	0.999	1.099	0.046
	2	0.324	0.141	0.995	3.262	0.101
	4	0.351	0.086	0.990	4.536	0.046
16	0	0.293	0.154	0.993	2.992	0.047
	2	0.293	0.146	0.990	4.004	0.097
	4	0.328	0.059	0.991	6.126	0.169

Cuadro XXX. Parámetros reológicos de yogures 2 por ciento grasa, analizados por el modelo Ley de Potencia.

Sistema	Tiempo (semanas)	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol2%	0	0.418	0.145	0.992	5.844	0.236
	2	0.496	0.107	0.935	17.674	0.417
	4	0.430	0.112	0.959	12.699	0.294
5	0	0.392	0.132	0.982	6.468	0.113
	1	0.367	0.101	0.996	3.076	0.077
	2	0.306	0.090	0.979	7.82	0.565
6	0	0.323	0.152	0.996	2.724	0.050
	1	0.342	0.122	0.996	2.883	0.081
	2	0.273	0.145	0.987	4.152	0.113
7	0	0.417	0.113	0.959	12.628	0.236
	1	0.392	0.095	0.954	12.018	0.193
	2	0.327	0.062	0.991	4.606	0.080
8	0	0.342	0.098	0.987	6.035	0.219
	1	0.328	0.088	0.996	4.400	0.215
	2	0.310	0.064	0.991	5.845	0.184
17	0	0.361	0.195	0.994	3.620	0.100
	1	0.316	0.153	0.999	1.168	0.025
	2	0.444	0.120	0.986	8.368	0.321
18	0	0.393	0.167	0.994	4.773	0.185
	1	0.376	0.123	0.995	3.283	0.098
	2	0.429	0.122	0.989	6.594	0.283
19	0	0.490	0.154	0.893	19.725	0.365
	1	0.321	0.139	0.975	6.451	0.092
	2	0.315	0.149	0.990	4.106	0.079
20	0	0.352	0.161	0.977	7.442	0.248
	1	0.331	0.164	0.982	5.800	0.150
	2	0.270	0.166	0.996	2.310	0.076

Cuadro XXXI. Parámetros reológicos de yogures 3 por ciento grasa, analizados por el modelo Ley de Potencia.

Sistema	Tiempo (semanas)	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol3%	0	0.417	0.114	0.986	6.027	0.128
	2	0.422	0.111	0.982	7.175	0.152
	4	0.428	0.104	0.980	6.727	0.146
9	0	0.373	0.146	0.896	16.107	0.259
	2	0.400	0.113	0.979	7.157	0.106
	4	0.459	0.075	0.974	9.973	0.111
10	0	0.250	0.183	0.993	2.566	0.051
	2	0.415	0.124	0.903	18.167	0.343
	4	0.532	0.057	0.948	16.299	0.180
11	0	0.515	0.107	0.948	16.437	0.364
	2	0.381	0.136	0.953	11.248	0.239
	4	0.315	0.158	0.960	6.576	0.100
12	0	0.431	0.112	0.973	9.070	0.166
	2	0.391	0.108	0.946	12.370	0.331
	4	0.360	0.113	0.954	10.309	0.213
21	0	0.367	0.234	0.992	4.318	0.233
	2	0.363	0.180	0.991	5.122	0.260
	4	0.370	0.155	0.993	4.213	0.139
22	0	0.345	0.233	0.995	3.032	0.191
	2	0.409	0.177	0.973	9.331	0.399
	4	0.376	0.157	0.987	6.544	0.315
23	0	0.339	0.142	0.989	4.500	0.142
	2	0.350	0.134	0.953	11.279	0.529
	4	0.298	0.133	1.000	0.602	0.010
24	0	0.335	0.176	0.968	8.523	0.403
	2	0.329	0.172	0.993	4.022	0.206
	4	0.349	0.151	0.972	7.591	0.116

Cuadro XXXII. Parámetros reológicos de yogures 1 por ciento grasa, analizados por el modelo de Herschel Bulkley.

Sistema	Tiempo	τ_0	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol1%	0	0.6	1.034	0.035	0.730	36.700	1.602
	2	0.68	1.058	0.027	0.824	24.973	1.129
	4	0.72	1.236	0.021	0.838	32.820	1.720
1	0	0.54	1.033	0.023	0.886	40.502	1.911
	2	0.38	1.020	0.022	0.813	26.788	0.699
	4	0.14	1.191	0.008	0.988	23.554	0.755
2	0	0.55	1.047	0.032	0.813	26.013	1.693
	2	0.3	0.931	0.017	0.847	19.518	0.614
	4	0.1	1.096	0.008	0.933	17.887	0.332
3	0	0.35	1.243	0.011	0.745	49.571	2.264
	2	0.44	0.949	0.017	0.916	24.028	0.965
	4	0.34	1.226	0.026	0.868	60.398	1.325
4	0	0.31	0.895	0.023	0.712	31.556	0.961
	2	0.61	0.957	0.014	0.820	19.063	0.564
	4	0.33	0.994	0.013	0.643	33.548	0.867
13	0	0.88	0.974	0.044	0.788	24.955	1.864
	2	0.59	1.112	0.019	0.814	20.801	0.812
	4	0.47	1.034	0.016	0.849	16.953	0.477
14	0	0.91	0.970	0.040	0.871	20.184	1.472
	2	0.8	1.023	0.029	0.833	19.690	0.947
	4	0.53	0.953	0.020	0.879	20.050	0.938
15	0	0.94	1.029	0.032	0.780	23.779	1.246
	2	0.78	1.035	0.029	0.770	23.821	1.047
	4	0.42	0.937	0.024	0.764	23.651	0.593
16	0	0.85	0.932	0.035	0.744	23.155	0.966
	2	0.83	0.973	0.031	0.743	21.917	0.887
	4	0.33	0.848	0.014	0.865	15.521	0.344

Cuadro XXXIII. Parámetros reológicos de yogures 2 porciento grasa, analizados por el modelo de Herschel Bulkley.

Sistema	Tiempo	τ_0	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol2%	0	0.65	1.091	0.032	0.793	30.392	2.166
	2	0.4	1.067	0.034	0.839	37.223	1.625
	4	0.43	0.886	0.038	0.842	29.699	1.325
5	0	0.57	1.090	0.033	0.699	35.526	1.644
	2	0.55	1.109	0.020	0.816	23.425	0.913
	4	0.46	1.115	0.017	0.818	24.631	1.130
6	0	0.91	1.194	0.023	0.809	25.956	1.513
	2	0.66	1.191	0.021	0.719	30.772	1.373
	4	0.89	1.225	0.019	0.677	30.311	1.429
7	0	0.47	1.090	0.030	0.745	39.034	1.548
	2	0.36	0.879	0.028	0.690	37.294	1.267
	4	0.37	0.928	0.011	0.833	19.982	0.490
8	0	0.6	1.037	0.016	0.796	24.679	1.123
	2	0.5	1.003	0.019	0.833	30.913	1.427
	4	0.39	0.984	0.013	0.881	25.531	0.849
17	0	0.91	1.125	0.049	0.752	30.328	1.921
	2	0.88	0.989	0.032	0.828	54.205	3.658
	4	0.54	1.033	0.030	0.858	21.429	1.334
18	0	0.74	1.010	0.040	0.773	30.129	2.095
	2	0.66	1.076	0.027	0.846	21.209	1.013
	4	0.57	1.060	0.028	0.847	23.808	1.502
19	0	0.46	1.358	0.052	0.642	49.364	1.913
	2	0.69	1.073	0.030	0.649	34.782	1.444
	4	0.8	1.008	0.032	0.722	25.111	1.104
20	0	0.8	1.076	0.036	0.741	32.674	1.817
	2	0.8	0.936	0.044	0.736	27.393	1.293
	4	1	0.763	0.043	0.909	10.631	0.433

Cuadro XXXIV. Parámetros reológicos de yogures 3 por ciento grasa, analizados por el modelo de Herschel Bulkley.

Sistema	Tiempo	τ_0	Indice de flujo (n)	Coef. de consistencia (Pa sⁿ)	R²	PEM	RMSE
Ctrol3%	0	0.5	1.356	0.020	0.671	49.651	2.514
	2	0.47	1.19	0.025	0.711	40.967	1.821
	4	0.42	1.025	0.031	0.762	32.067	1.211
9	0	0.52	0.968	0.046	0.610	40.065	1.613
	2	0.47	1.035	0.032	0.709	33.274	1.270
	4	0.27	1.044	0.024	0.731	36.022	0.987
10	0	1.11	0.965	0.034	0.716	23.153	1.099
	2	0.40	0.957	0.044	0.644	42.137	1.552
	4	0.20	1.184	0.017	0.809	40.102	1.125
11	0	0.36	1.163	0.032	0.758	43.919	2.120
	2	0.55	1.052	0.036	0.661	40.304	1.724
	4	0.80	1.596	0.027	0.609	43.095	1.678
12	0	0.47	1.065	0.032	0.768	34.129	1.405
	2	0.44	0.905	0.028	0.679	38.814	1.496
	4	0.52	1.128	0.017	0.619	49.634	2.350
21	0	1.10	0.843	0.083	0.934	11.530	0.747
	2	0.91	0.934	0.043	0.844	20.396	1.407
	4	0.77	1.180	0.034	0.796	25.318	1.464
22	0	1.20	1.324	0.041	0.722	34.838	3.007
	2	0.88	1.444	0.029	0.815	33.670	2.785
	4	0.77	0.938	0.039	0.836	19.816	1.216
23	0	0.76	1.108	0.031	0.840	20.628	0.991
	2	0.75	1.063	0.023	0.818	21.549	1.128
	4	0.72	1.293	0.034	0.777	22.202	0.641
24	0	0.89	0.951	0.039	0.729	23.040	1.358
	2	0.89	0.970	0.036	0.755	26.019	1.579
	4	0.66	1.230	0.034	0.629	40.395	2.041

De manera general los sistemas 1 por ciento grasa, analizados por el modelo Ley de Potencia reflejan que el índice de flujo aumenta con el tiempo de almacenamiento y que el coeficiente de consistencia disminuye; además, el coeficiente es mayor en sistemas

enriquecidos con más cantidad de fibra, siendo más notable en sistemas con linaza mexicana.

Los sistemas 2 por ciento de grasa tuvieron un índice de flujo menor el cuál disminuyó a través del tiempo, así como el coeficiente de consistencia.

Los sistemas 3 por ciento de grasa no estuvo bien definido sin embargo parece haber un incremento del índice de flujo y una disminución de la consistencia.

Lo que si se aprecia muy bien en la aplicación de este modelo es que el índice de flujo disminuye al tener mayor cantidad de linaza, así como mayor cantidad de calcio (100 mg / 100 mL), ya que el sistema se vuelve más pesado, por el contrario este índice de flujo aumenta al tener mayor porcentaje de grasa, debido a que la grasa actúa como un lubricante permitiendo que fluya más rápido.

Finalmente con respecto al coeficiente de consistencia, este aumenta al tener mayor cantidad de fibra, por lo que el factor composicional que más afectó fue la linaza.

Con respecto al modelo Herschel-Bulkley se observó que en los sistemas con 1 por ciento grasa el valor de K disminuye con el tiempo.

Los sistemas 2 por ciento reflejaron que el valor de n aumenta y K disminuye y finalmente los sistemas 3 por ciento de grasa reflejaron el mismo comportamiento que los de 2 por ciento de grasa.

En este modelo el facto más importante resultó ser τ_0 (esfuerzo de cedencia), indicándonos que es la energía necesaria requerida para iniciar la deformación en el sistema.

En este modelo τ_0 aumentó al tener menor porcentaje de grasa, mayor cantidad de linaza y mayor cantidad de calcio, como ya se menciono se requiere mayor energía cuando el sistema es mas “pesado” en su composición. Así también la consistencia es mayor al tener más linaza.

Al analizar los parámetros reológicos se deduce que ambos modelos ajustaron adecuadamente los datos experimentales, observándose un mejor ajuste con el modelo Ley de Potencia, considerándose de mayor utilidad para analizar la reología del yogurt. Sin embargo no hay que olvidar que el modelo Herschel-Bulkley es de mayor utilidad debido a que posee un mayor número de parámetros para caracterizar el flujo del producto. Sólo que como ya se mencionó para este caso el que mejor ajusta es Ley de Potencia.

Los valores de los parámetros K y n obtenidos indican que los yogures más consistentes (mayor valor de K) son también más pseudoplásticos (menor valor de n), lo que se puede interpretar como reflejó de sistemas más complejos mayor interacción de sus componentes.

6.3.12 Pruebas Sensoriales

Se realizó una prueba hedónica de 9 puntos (Apéndice D), donde se convocaron 25 panelistas para degustar el yogurt elaborado y que lo calificaran según su agrado en cuestión de color, sabor, aroma, consistencia y aceptabilidad general. Se muestran los resultados de los sistemas mejor calificados (Cuadros XXXV y XXXVI), a los que se les realizó la prueba sensorial en 2 etapas, la etapa 1 (Semana 0 de elaboración) y de la etapa 2 (Semana 2).

Cuadro XXXV. Datos obtenidos de la evaluación sensorial de yogures a la semana 0.

Sistema	% Grasa	color	sabor	consistencia	aroma	Acep. Gral
7	2	7.56	6.32	7.64	7.16	7.20
23	3	7.76	6.2	6.72	6.76	6.76
11	2	7.84	6.76	7.28	6.96	7.24
19	3	7.64	6.4	7.28	6.96	7.24

Cuadro XXXVI. Datos obtenidos de la evaluación sensorial de yogures a la semana 2.

Sistema	% Grasa	color	sabor	consistencia	aroma	Acep. Gral
7	2	7.60	6.44	7.32	7.04	6.92
23	3	7.4	6.28	6.76	7.28	6.92
11	2	7.4	6.08	6.64	6.8	6.64
19	3	7.44	6.6	7.12	6.84	6.72

De acuerdo a las calificaciones mostradas anteriormente, se puede observar que el yogurt mejor evaluado de acuerdo a los parámetros (sabor, olor, color, consistencia y aceptabilidad general) con respecto a la semana 0 fue el Sistema 11 elaborado con 3 por ciento de grasa, 50 mg de calcio y 0.5 g de linaza canadiense, y con respecto a la semana 2 los mejores evaluados fueron los sistemas 7 y 23. Sistema 7 elaborado con 2 por ciento de grasa, 50 mg de calcio y 0.5 g de linaza canadiense y el sistema 23 elaborado con 3 por ciento de grasa, 50 mg de calcio y 0.5 g de linaza mexicana.

Con respecto al análisis de varianza (Apéndice E), con un nivel de confianza del 95%, se mostró que sí hubo diferencia significativa entre las muestras, lo que significa que las muestras que contenían linaza mexicana son más aceptadas a las que contenían linaza canadiense y los sistemas con 3 por ciento de grasa tienen mejor sabor y aceptación, debido a la consistencia.