

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 Caracterización de la materia prima

Para la caracterización de las tunas de las variedades Villanueva y Cardona, se seleccionaron de manera aleatoria de una a dos tunas por cada uno de los cuatro contenedores que se tenían para cada variedad.

7.1.1 Proporción y dimensiones

Al determinar la proporción de cada parte de la fruta, se pudo observar el rendimiento aproximado de la parte comestible (pulpa) ya que, a partir de ésta se iban a elaborar los jugos. En la Tabla VII, se muestran las proporciones promedio de cáscara, pulpa y semilla para las variedades Villanueva y Cardona. Se puede observar que la variedad Villanueva tiene una mayor cantidad de pulpa y menor cantidad de semillas, esto puede deberse principalmente a que es una tuna que se ha cosechado de un plantío, y no de manera silvestre como la Cardona, y por lo tanto ha pasado a través de una selección y tiene condiciones apropiadas para su crecimiento como son el abono, la poda y el riego (Flores – Valdez et al., 1997).

Tabla VII. Porcentajes de proporción promedio para ambas variedades de tuna.

	% Proporción		
	Cáscara	Pulpa	Semilla
Tuna Villanueva	38.15 ± 8.61	57.70 ± 9.10	4.15 ± 1.07
Tuna Cardona	52.37 ± 2.65	40.52 ± 1.66	7.11 ± 2.62

De acuerdo con Reyes – Agüera et al. (2004) (Tabla I), el peso total de la tuna de diferentes variedades se encuentra en un rango de 40 a 190 g, el peso de la cáscara en un intervalo de 14 a 100 g y el peso de la pulpa entre 45 y 130 g. Como se puede observar en la tabla siguiente (Tabla VIII) los valores de las tunas Villanueva y Cardona se encuentran dentro de los rangos señalados por este autor.

Tabla VIII. Pesos promedio para ambas variedades de tuna.

	Peso total	Peso cáscara	Peso pulpa
Tuna Villanueva	147.90 ± 8.99	57.52 ± 19.21	84.17 ± 6.22
Tuna Cardona	63.86 ± 3.61	33.50 ± 9.57	25.76 ± 6.56

Es muy probable también que el tipo de cultivo que tuvieron las tunas sea la causa de que exista una gran diferencia en el tamaño de ambas variedades, como se muestra en la Tabla IX. Existe también diferencia en la forma, dada su longitud, la variedad Villanueva presenta una forma ovoide mientras que la variedad Cardona es de forma casi esférica.

Tabla IX. Dimensiones (largo y ancho) para ambas variedades de tuna.

	Dimensiones (cm)	
	Largo	Diámetro
Tuna Villanueva	9.89 ± 1.34	5.93 ± 0.52
Tuna Cardona	5.51 ± 0.48	4.76 ± 0.43

El valor del largo de la tuna Villanueva se encuentra dentro del rango de 6.0 a 10.0 cm reportado por Reyes – Agüero et al. (2004) (Tabla I), mientras que la variedad Cardona es un poco menor a ese rango. En el mismo trabajo de Reyes – Agüero et al. (2004) se establece el rango de 3.5 – 6.5 cm para el diámetro, en este caso ambas variedades se encuentran dentro de esos valores.

7.1.2 Propiedades fisicoquímicas

Porcentaje de humedad. Se determinaron los porcentajes de humedad por triplicado para cada una de las variedades, en la siguiente tabla se muestran los valores promedio obtenidos y se puede observar que la diferencia entre una y otra variedad es mínima.

Tabla X. Resultados promedio de humedad para ambas variedades.

	% Humedad
Tuna Villanueva	82.88 ± 4.29
Tuna Cardona	82.16 ± 1.68

De acuerdo con los datos presentados por Fuentes-Rodríguez y López - González (2004), el contenido de humedad de las tunas del país varían del 70 al 93% dependiendo de las condiciones de la edad de las pencas y si el cultivo es silvestre o no. Se puede observar que los valores obtenidos asemejan a los reportados en la literatura por Bravo – Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Fuentes-Rodríguez y López – González, 2004 y USDA, 2006.

Densidad. En la tabla XI se reportan las densidades obtenidas para cada una de las variedades de tuna.

Tabla XI. Valores promedio de densidad para ambas variedades de tuna.

	Densidad (kg/m ³)
Tuna Villanueva	1009.35 ± 60.60
Tuna Cardona	1005.59 ± 61.94

Debido a su alto contenido de humedad, para la mayoría de los frutos el valor de su densidad fluctúa alrededor de 1000 kg/m³, algunas densidades reportadas para otras frutas corroboran lo anterior: zapote 1083 kg/m³, guayaba 1051 kg/m³, papaya 987 kg/m³ (Pantastico, 1979).

Sólidos solubles (SST). Los datos presentados en la siguiente tabla, son los obtenidos para los sólidos solubles totales presentados como grados Brix. Se puede observar que hay una diferencia de aproximadamente un grado entre ambas variedades de tuna y que éstas se encuentran dentro de los valores reportados por Reyes-Agüero et al. (2004) que establecen, para gran parte de las variedades de México, un rango entre 10.0 a 17.0 °Bx para tunas en grado adecuado de maduración. El rango que presentan es amplio, pero está justificado de acuerdo con Esparza - Frausto et al. (2004), ya que el valor de los sólidos solubles se puede ver afectado por la temporada de riego y cosecha.

Tabla XII. Valores promedio de los SST en °Bx para ambas variedades de tuna.

	Sólidos solubles totales °Bx
Tuna Villanueva	13.07 ± 1.38
Tuna Cardona	15.39 ± 0.37

Acidez. Los valores obtenidos para la acidez (Tabla XIII), se asemejan a los reportados por Arnaud-Viñas et al. (1997) para otros frutos de cactáceas como la

pitaya con 0.065 g de ácido cítrico/ 100 mL, el tunillo con 0.075 g de ácido cítrico/ 100 mL y la jiotilla con 0.095 g de ácido cítrico/ 100 mL.

Tabla XIII. Valores promedio para la acidez para ambas variedades de tuna.

	Acidez g Ác. Cít/ 100mL
Tuna Villanueva	0.09 ± 0.01
Tuna Cardona	0.07 ± 0.02

Índice de madurez. Los valores calculados del índice de madurez se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV. Resultados del valor del índice de madurez de ambas variedades de tuna.

	Índice de Madurez °Bx/(g Ác. Cít/ 100mL)
Tuna Villanueva	147.62 ± 25.19
Tuna Cardona	240.09 ± 56.40

De los valores reportados por Arnaud-Viñas et al. (1997) para °Bx y Acidez se obtienen índices de madurez para la pitaya de 177.08, para el tunillo de 140.00 y para la jiotilla de 120.42. Al compararlos con los obtenidos para las tunas Villanueva y Cardona, es notorio que el índice de madurez de ésta última es mucho mayor, por lo que se puede inferir que el grado de madurez de la tuna Cardona era mayor al de la variedad Villanueva.

pH. Los valores obtenidos (Tabla XV) son semejantes al reportado por Argáiz – Jamet (1999a) el cual es de 5.77 para una tuna verde (*Opuntia amyocleae*).

Tabla XV. Resultados promedio para el valor de pH de las tunas de ambas variedades.

	pH
Tuna Villanueva	5.98 ± 0.17
Tuna Cardona	5.75 ± 0.24

Color. Para los valores de color de la tuna con cáscara no se encontraron valores reportados, sin embargo, si se obtuvieron valores de la literatura para la pulpa de tuna (*Opuntia amyacleae*) siendo los siguientes L de 38.08 ± 4.58, a de -3.58 ± 2.2 y b de 13.22 ± 3.36 en la escala de Hunter para la tuna verde fresca (Argáiz – Jamet, 1999b). La siguiente tabla muestra los parámetros de color obtenidos para las tunas de ambas variedades, con cáscara y para un homogeneizado realizado con la pulpa y las semillas (puré).

Tabla XVI. Valores promedio de color, obtenidos para ambos tipos de tuna.

	Color			Tono
	L _h	a _h	b _h	H
Cáscara Tuna Villanueva	43.74 ± 14.21	-9.76 ± 3.92	23.28 ± 2.86	178.83
Puré Tuna Villanueva	46.79 ± 2.91	-3.95 ± 1.51	16.29 ± 2.02	178.67
Cáscara Tuna Cardona	21.96 ± 2.02	17.05 ± 3.09	3.63 ± 1.04	0.21
Puré Tuna Cardona	14.22 ± 1.51	21.55 ± 4.02	3.82 ± 0.94	0.18

En el caso de la variedad Villanueva se puede observar que ambas variedades se encuentran dentro de las tonalidades verdes, sin embargo la cáscara es más oscura dado su valor de luminosidad. Mientras que para el caso de la tuna Cardona, el tono indica que se encuentra en los límites de los tonos rojos, cercano a los purpúreos; en este caso la cáscara resulta ser de más clara que la pulpa.

Compresión. Los resultados de esta prueba (Tabla XVII), permiten observar claramente que la tuna variedad Villanueva ofreció mayor resistencia que la tuna Cardona, esto aunado a los valores obtenidos para el índice de madurez permite

afirmar que había una diferencia considerable entre la madurez de la variedad Villanueva y la Cardona. La técnica indica compresión al 25% pero dadas las características de la variedad Villanueva, no se pudo realizar dicha prueba por lo cual se midió la compresión máxima siendo esta a un 10%; esto se hizo para verificar si las tunas de los diferentes lotes presentaban diferencias en su textura.

Tabla XVII. Resultados obtenidos de la prueba de compresión para ambas variedades de tuna.

	Compresión	
	d (mm)	F (N)
al 10% Tuna Villanueva	1.44 ± 0.57	24.24 ± 4.28
al 25% Tuna Cardona	6.26 ± 2.64	6.07 ± 4.97

Penetración. Las pruebas de penetración tanto para la tuna con cáscara (Tabla XVIII), como para la tuna sin cáscara (Tabla XIX), mostraron que la tuna verde ofrece mayor resistencia a la penetración, lo cual puede atribuirse al grado de madurez. La cáscara de la variedad Villanueva presenta una mayor resistencia a la penetración, esto se observa en la magnitud de la fuerza requerida, ya que era un poco más gruesa que su igual de la variedad Cardona. Además la cáscara de ésta última era más flexible, lo que permitió una mayor distancia con una menor fuerza aplicada en relación a la tuna de la variedad Villanueva.

Tabla XVIII. Valores de la prueba de penetración de tuna con cáscara de ambos tipos.

	Penetración con cáscara			
	Tuna Villanueva		Tuna Cardona	
	d (mm)	F (N)	d (mm)	F (N)
Punta	3.06 ± 1.68	7.67 ± 1.87	3.42 ± 0.98	5.80 ± 1.42
Centro	2.41 ± 0.49	14.96 ± 3.58	4.30 ± 0.68	10.28 ± 1.18
Base	2.39 ± 0.39	11.98 ± 2.04	3.68 ± 1.20	7.62 ± 1.78

En el caso de la penetración sin cáscara se sigue presentando una resistencia mayor por parte de la variedad Villanueva, lo cual además del grado de madurez del fruto como ya se había comentado, pudo verse influida por el acomodo y tamaño que tenían las semillas de esta variedad; ya que eran más grandes y permitían que el fruto se intercalara entre ellas, en cambio la tuna Cardona tenía semillas más pequeñas y éstas estaban aglomeradas cerca del centro.

Tabla XIX. Valores de la prueba de penetración de tuna sin cáscara de ambos tipos.

Penetración sin cáscara				
	Tuna Villanueva		Tuna Cardona	
	d (mm)	F (N)	d (mm)	F (N)
Punta	4.71 ± 1.20	3.06 ± 1.22	5.16 ± 0.97	0.90 ± 0.72
Centro	4.60 ± 1.55	4.75 ± 2.63	4.66 ± 1.10	1.12 ± 0.76
Base	4.53 ± 1.30	3.53 ± 2.54	3.92 ± 1.13	1.16 ± 0.57

Para ambas pruebas de penetración, la tuna de la variedad Villanueva es la que presenta mayor resistencia, teniendo magnitudes de fuerza requerida más grandes y distancias recorridas más cortas, en comparación con la tuna de la variedad Cardona. Este hecho podría estar relacionado con características presentadas por cada variedad, pero también influye el grado de madurez que tienen ambas variedades.

7.2 Concentración del jugo

La concentración del jugo, se llevó a cabo en un Rotavapor R-111 (Fig. 7) en lotes de 250 mL con una presión de 508 mm de Hg. Las concentraciones fueron: 42 ± 2

°Bx, 55 ± 2 °Bx y 60 ± 2 °Bx para ambas variedades. Las diferencias en la concentración de una variedad y otra se deben a que el proceso de evaporación en el equipo Büchi no fue controlado de manera precisa, así que por observación en los cambios de las características de los jugos se estableció el tiempo de residencia en el equipo, por ello se maneja un rango de tiempos de residencia entre los 25 y 35 minutos. Las temperaturas en el baño se incrementaban durante el proceso, en un rango de 55 a 85 °C aproximadamente en 10 °C por cada 10 minutos, para obtener tiempos de residencia similares para todas las concentraciones.



Fig. 7. Rotavapor R – 111 y baño marca Büchi utilizados en la concentración.

Las principales diferencias que presentaron el jugo de la variedad Villanueva del jugo de la variedad Cardona son:

1. Degradación de color en el jugo de la variedad Villanueva, pasando de un color verde a uno amarillo, si el jugo se mantenía por más de 40 minutos en el rotavapor lo cual implicaba tener temperaturas bajas en el baño, se presentaba también una separación de fases (Fig. 8).



Fig. 8. Jugo concentrado de tuna Villanueva con degradación de color y separación de fases.

2. El jugo de tuna de la variedad Villanueva presenta un menor rendimiento durante la concentración debido a que la presencia de materiales solubles en el jugo en mayor cantidad que los presentes en el jugo variedad Cardona, y que durante la concentración se adhieren en las paredes del matraz.
3. El jugo de la variedad Cardona, no presenta deterioro visible durante la concentración a temperaturas del baño entre 50 y 70 °C y tiempos de residencia de 45 a 75 minutos, tampoco se percibió algún cambio cuando la temperatura del baño era mayor y el tiempo de residencia más corto.

Para ambas variedades la temperatura máxima alcanzada por el jugo justo al término del proceso de concentración fue de 60 °C, el valor de dicha temperatura fluctuó entre 45 y 60 °C.

7.3 Propiedades fisicoquímicas de los jugos concentrados

Para poder expresar de manera más clara los resultados, se plantea el siguiente código para los diferentes sistemas (Fig. 9):

Tuna variedad Villanueva:

- 42 °Bx → V42
- 53 °Bx → V53
- 58 °Bx → V58

Tuna variedad Cardona:

- 42 °Bx → R42
- 55 °Bx → R55
- 60 °Bx → R60

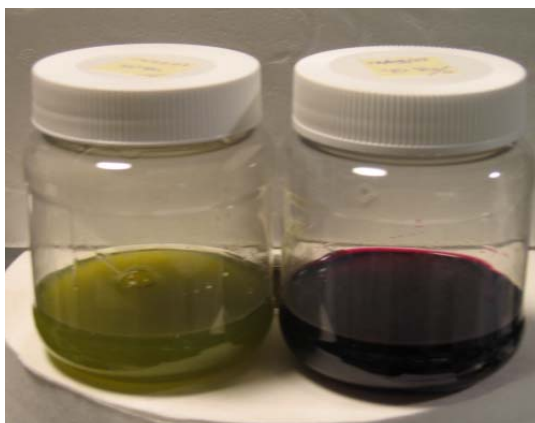


Fig. 9. Jugo concentrados a 42 °Bx variedad Villanueva (V42) y Cardona (R42).

Densidad. Como se puede ver en las figura 10 y 11, la densidad de los jugos concentrados de las variedades Villanueva y Cardona, no presentan un cambio significativo con respecto al tiempo.

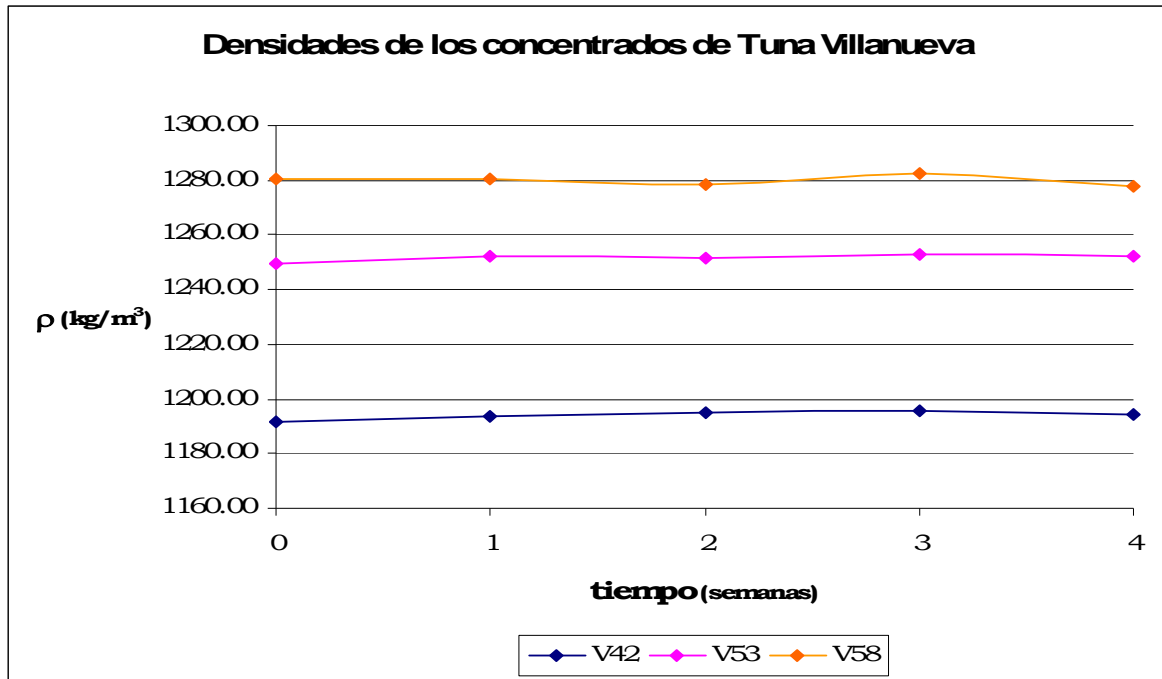


Fig. 10. Comportamiento de la densidad del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

Lo anterior fue corroborado por medio de un análisis ANOVA de dos vías al 95% de confianza (Apéndice B), donde se observó que no había diferencia significativa para la densidad a los diferentes tiempos.

Un comportamiento similar, aunque con desviaciones estándar mayores entre las medias, presenta el jugo concentrado de tuna Cardona (Fig. 11). De acuerdo con el ANOVA de dos vías al 95% (Apéndice B), tampoco existe una dependencia para la densidad con respecto al tiempo, sin embargo presenta una dependencia a la concentración.

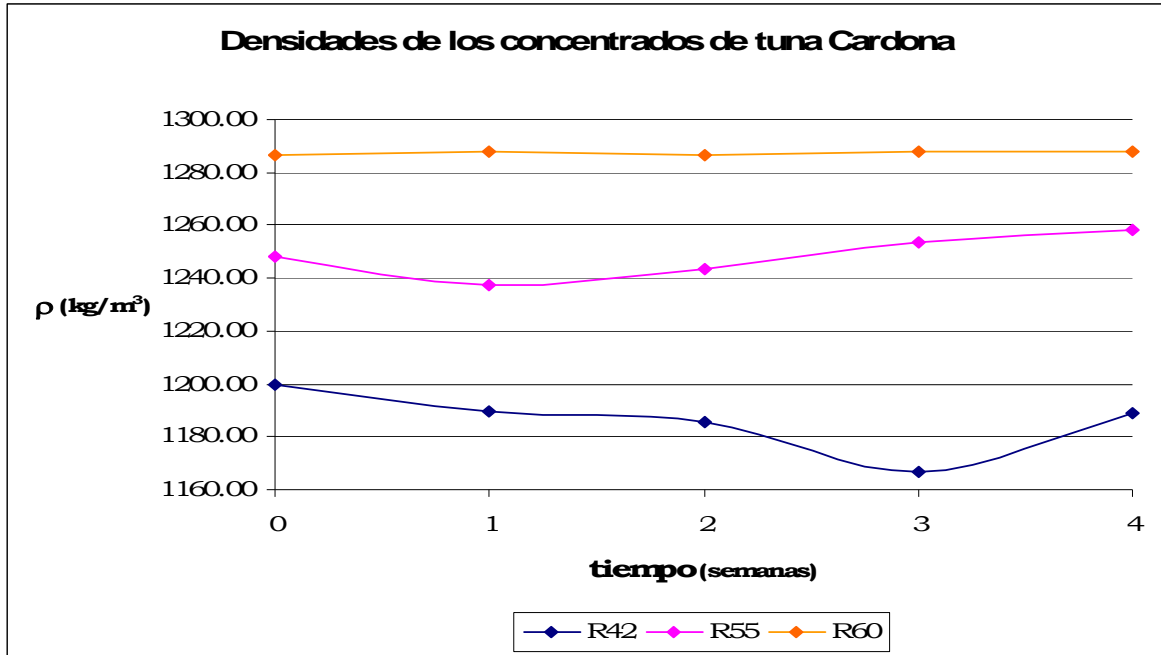


Fig. 11. Comportamiento de la densidad del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

Los jugos concentrados de ambas variedades de tuna presentan densidades similares en correspondencia con el grado de concentración, esto se puede explicar por la dependencia de la densidad con los sólidos solubles, lo cual confirma lo reportado en la literatura (Zainal et al., 2000; Moreira – Azoubel et al., 2004; Zuritz et al., 2005).

pH. Para el caso de los pH, existe una gran diferencia entre el jugo concentrado de la variedad Villanueva y el de la variedad Cardona. Siendo para la tuna Villanueva un valor neutral como se puede ver en la figura 12.

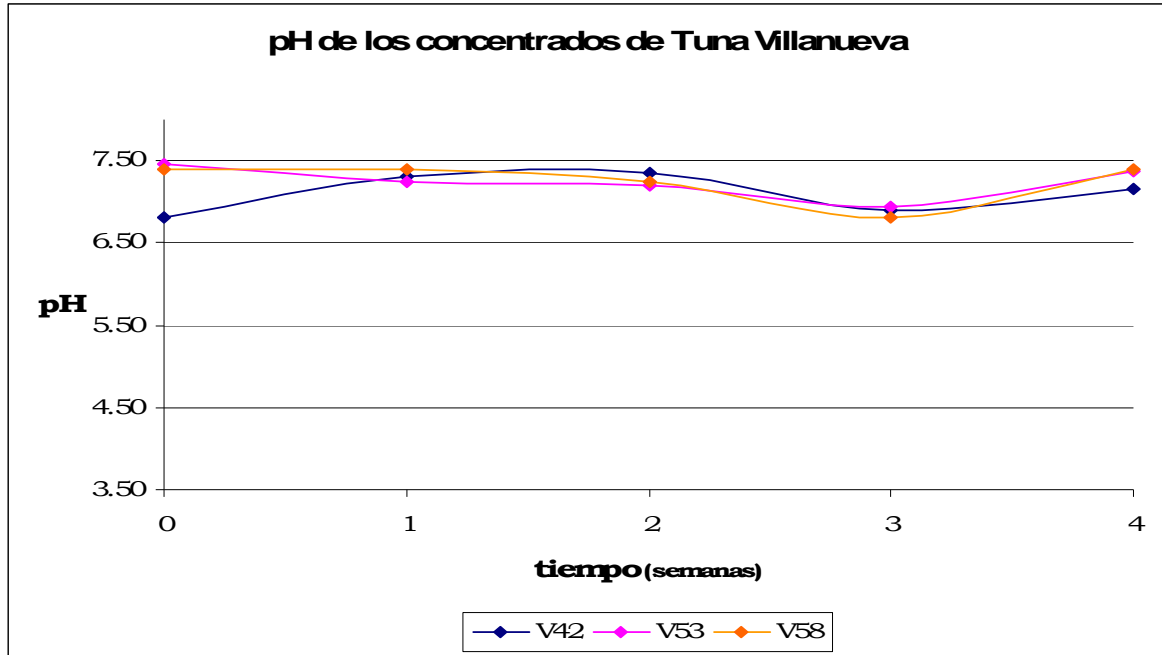


Fig. 12. Comportamiento del pH del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

El ANOVA de dos vías (Apéndice B), efectuado para el pH muestra que durante la semana 3 todas las concentraciones del jugo de la variedad Villanueva presentan una disminución del pH, teniendo una media de 6.88; la cual se encuentra más alejada de las otras medias que están en un rango de 7.22 a 7.31. Si se eliminan los valores de la semana tres existiría una diferencia significativa con respecto al tiempo con un valor de $P = 0.022$. En el caso del efecto de la concentración, no hay diferencia significativa entre los valores de pH medidos a los concentrados de 53 y 58 °Bx, sin embargo la media de los valores de pH para la concentración de 42 °Bx si presenta una diferencia significativa con respecto a las otras dos, esto puede deberse a la cercanía entre las concentraciones de 53 y 58 °Bx.

Por otro lado, los valores de pH de la variedad Cardona presentan un comportamiento ácido como puede apreciarse en la figura 13.

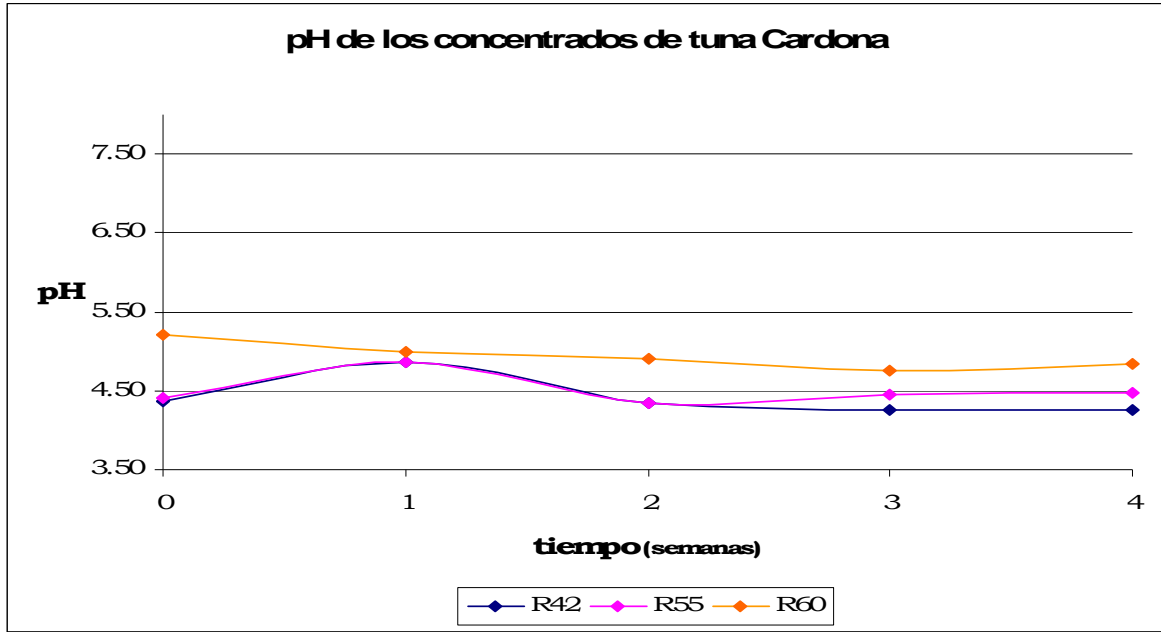


Fig. 13. Comportamiento del pH del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

Para esta variedad de tuna, el ANOVA de dos vías (Apéndice B) muestra que existe diferencia significativa con respecto al tiempo, ya que aunque los valores de las medias son cercanos, en el tiempo 0 y a la semana 1 los valores se encuentran más alejados del resto. Al realizar un análisis ANOVA de una vía al 95% de confiabilidad para cada concentración, se puede observar que los valores de pH medidos en la semana 1 siempre presentan una diferencia significativa con respecto a los otros tiempos que entre ellos no presentan diferencia significativa.

En ambos casos se puede inferir que los cambios fisiológicos continúan durante el almacenamiento y que el efecto de la concentración sólo es detectable con niveles de concentración con diferencias superiores a los 8 °Bx.

Acidez. En cuanto a la titulación de los jugos concentrados (Fig. 14), para la variedad Villanueva se utilizó fenoftaleína como indicador distinguiendo el cambio de color con facilidad, para los jugos concentrados de la variedad Cardona, la

titulación fue auxiliada con un potenciómetro, observando un cambio de color de rojizo a purpúreo al llegar al pH de 8.3.

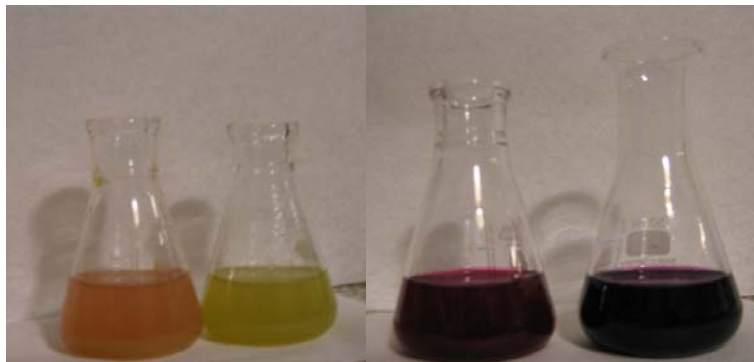


Fig. 14. Cambio de color a pH 8.3 en la titulación de los jugos concentrados de tuna Villanueva y Cardona.

En lo que respecta a los valores obtenidos para la acidez, el jugo de tuna de variedad Villanueva (Fig. 15) presenta, como era de esperarse, valores de acidez bajos en el rango de 0.08 a 0.15 g de ácido cítrico/ 100 mL de muestra. Esto concuerda con los altos valores de pH obtenidos para esta variedad (Fig. 12).

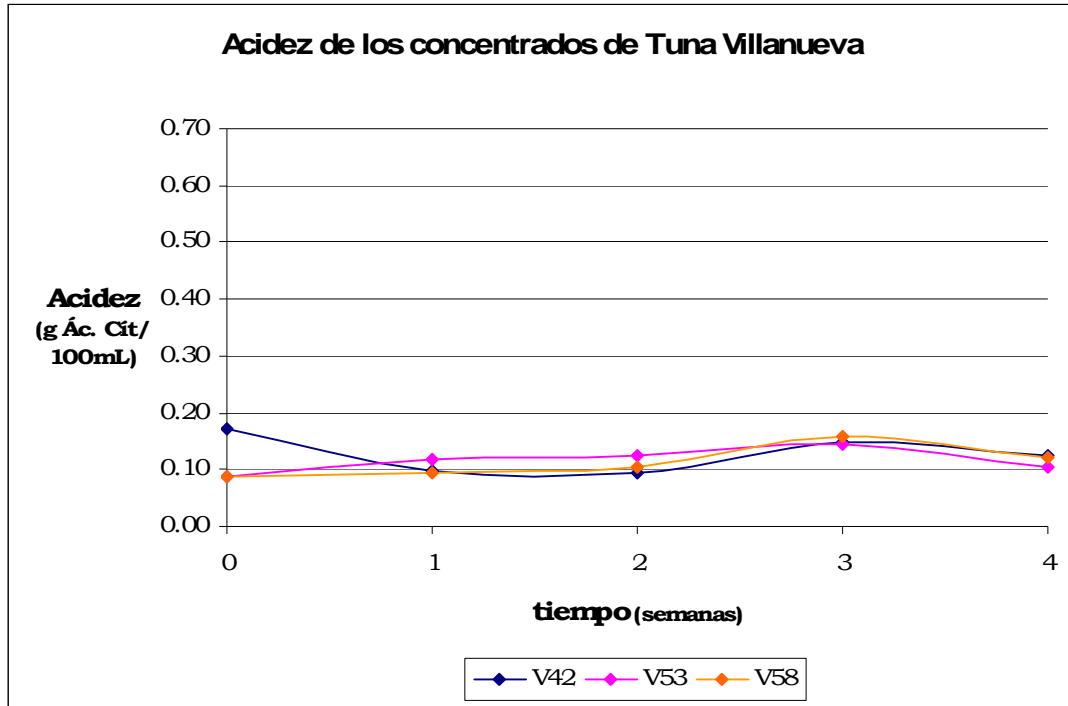


Fig. 15. Comportamiento de la acidez del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

En tanto que, el ANOVA de dos vías al 95% para las concentraciones a 53 y 55 °Bx muestra que no existe diferencia significativa con respecto al tiempo, sin embargo ambas presentan una diferencia significativa con los valores de acidez de la concentración a 42 °Bx. Para dicha concentración el ANOVA de una vía mostró que existe diferencia significativa entre los valores de acidez con respecto al tiempo de almacenamiento.

Los valores de acidez de los jugos concentrados de la variedad Cardona se muestran en la figura 16, la acidez es mayor en comparación con la obtenida para el jugo concentrado de tuna Villanueva. Lo anterior se corrobora al observar los valores de pH obtenidos para la variedad Cardona (Fig. 13) son alrededor de 4.5. El rango presentado para la acidez de los jugos concentrados de la variedad Cardona se encuentran entre 0.33 y 0.58 g de ácido cítrico/ 100 mL de muestra.

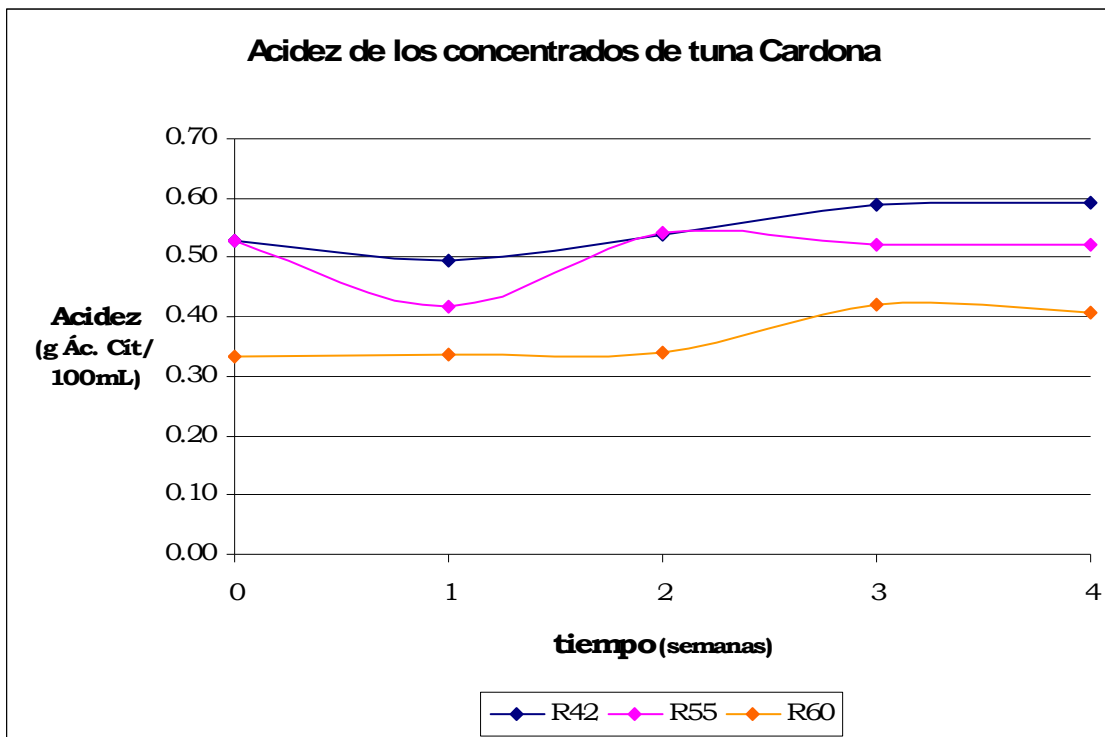


Fig. 16. Comportamiento de la acidez del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

Para los jugos de la variedad Cardona, el ANOVA (Apéndice B) de una vía muestra que no existe diferencia significativa entre los valores de la acidez de cada una de las concentraciones con respecto al tiempo. Sin embargo en el ANOVA de dos vías (Apéndice B), se puede observar que los valores de las medias a 42 y 55 °Bx se encuentran más cercanos en comparación con el valor de la acidez de la concentración a 60 °Bx. En cuanto a la relación de acidez – tiempo, si existe diferencia significativa.

Color. Se determinaron los parámetros L, a y b de la escala de Hunter para cada uno de los concentrados, en los diferentes tiempo de estudio. Es necesario mencionar que para los concentrados a 42 °Bx de ambas variedades, la primera medición realizada involucra un error experimental grande ya que se utilizó una celda diferente a la que se utilizó para el resto de las mediciones.

Para el caso del parámetro de luminosidad (**L**) de los jugos concentrados de tuna Villanueva (Fig. 17), se puede observar que para el concentrado a 58 °Bx permanece constante. Mientras que para los concentrados a 42 y 53 °Bx después de la primera semana el valor se mantiene fluctuando en un rango de 17 a 22.

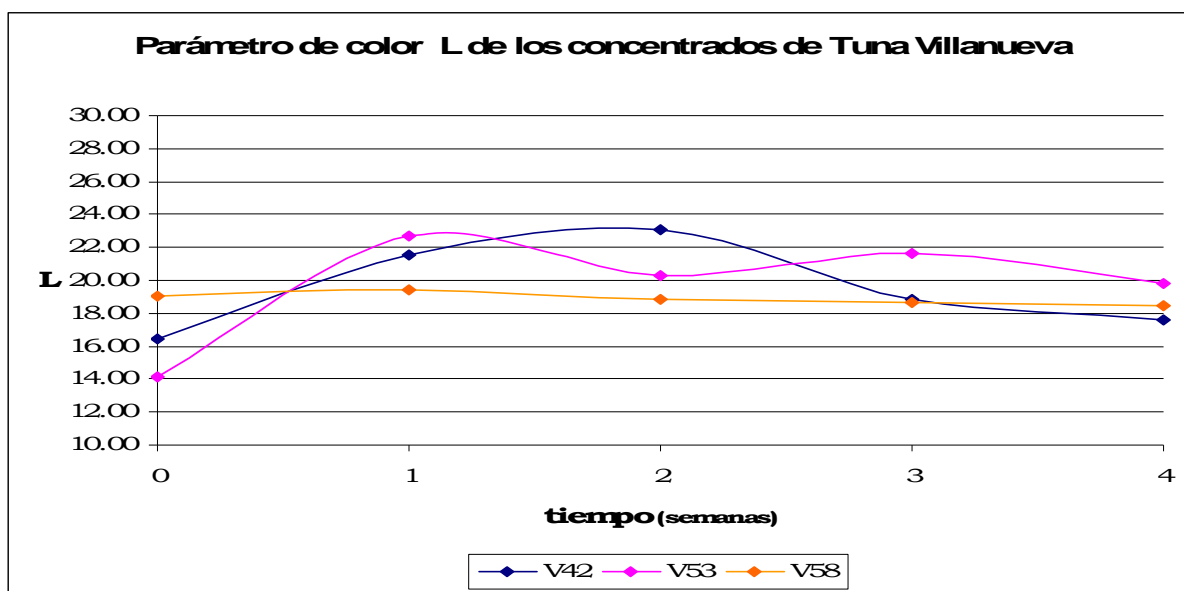


Fig. 17. Comportamiento del parámetro de color L del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

El ANOVA de una vía al 95% de confianza permite confirmar que para el sistema V42 existe una diferencia significativa entre las medias, aún eliminando el punto más disperso. Mientras que para el sistema V55 las medias correspondientes a las semanas 1 a la 4 se encuentran más cercanas y muestran una diferencia significativa con el valor medido al tiempo cero. El sistema V58 presenta las medias menos dispersas, encontrando sus valores en un rango de 18.457 a 19.047, sin embargo las mediciones del tiempo cero y la semana 1 tiene una ligera separación por lo que si existe diferencia significativa con respecto al tiempo. Para jugos concentrados de tuna verde, reporta la literatura que existe

una ligera disminución del parámetro L, con el paso del tiempo (Argáiz – Jamet, 1999b), lo cual coincide con lo observado en este estudio.

El parámetro **a** de color medido para los concentrados de la variedad Villanueva (Fig. 18), sitúa al jugo inicialmente en una tonalidad verde y con el paso del tiempo se acerca más a las tonalidades rojas. El concentrado de 58 °Bx vuelve nuevamente a tener una mayor estabilidad que los otros dos concentrados, esto puede deberse al bajo contenido de agua con lo cual la velocidad de reacciones de deterioro se reduce.

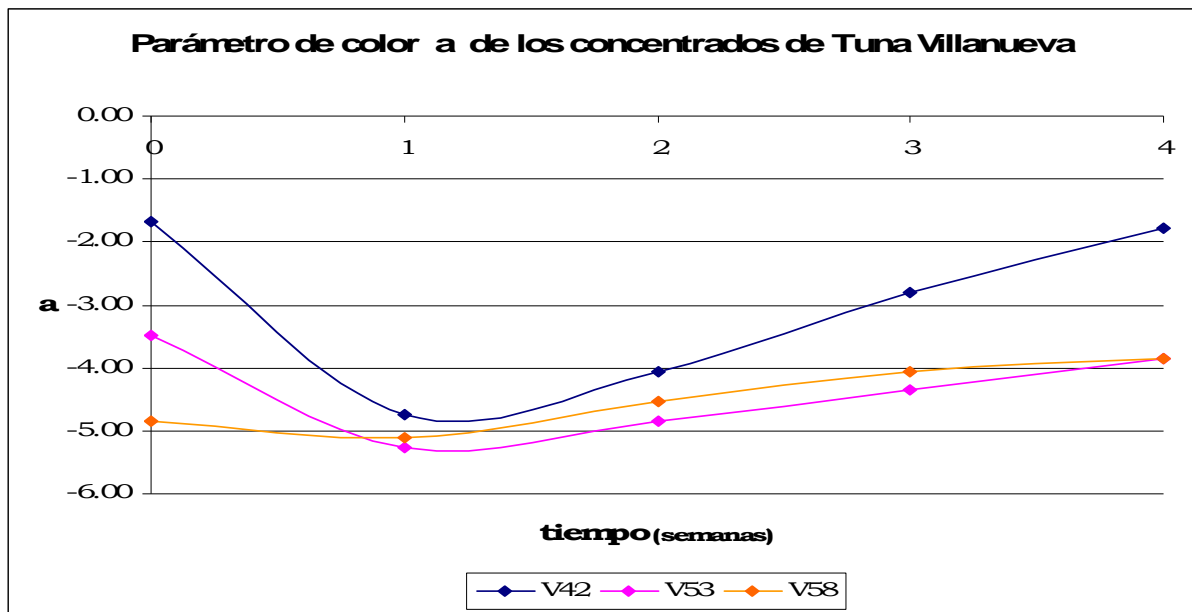


Fig. 18. Comportamiento del parámetro de color **a** del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

El ANOVA muestra que existe una diferencia significativa entre los valores determinados para las tres concentraciones, a pesar de que las medias de los sistemas V55 y V58 se encuentran cercanas. Nuevamente el sistema V42 es el que presenta mayor dispersión en las medias.

Los valores del parámetro **b** (Fig. 19), indican que el jugo tiende a los amarillos, descartando el tiempo cero para los sistemas V42 y V55, las tres concentraciones presentan valores similares.

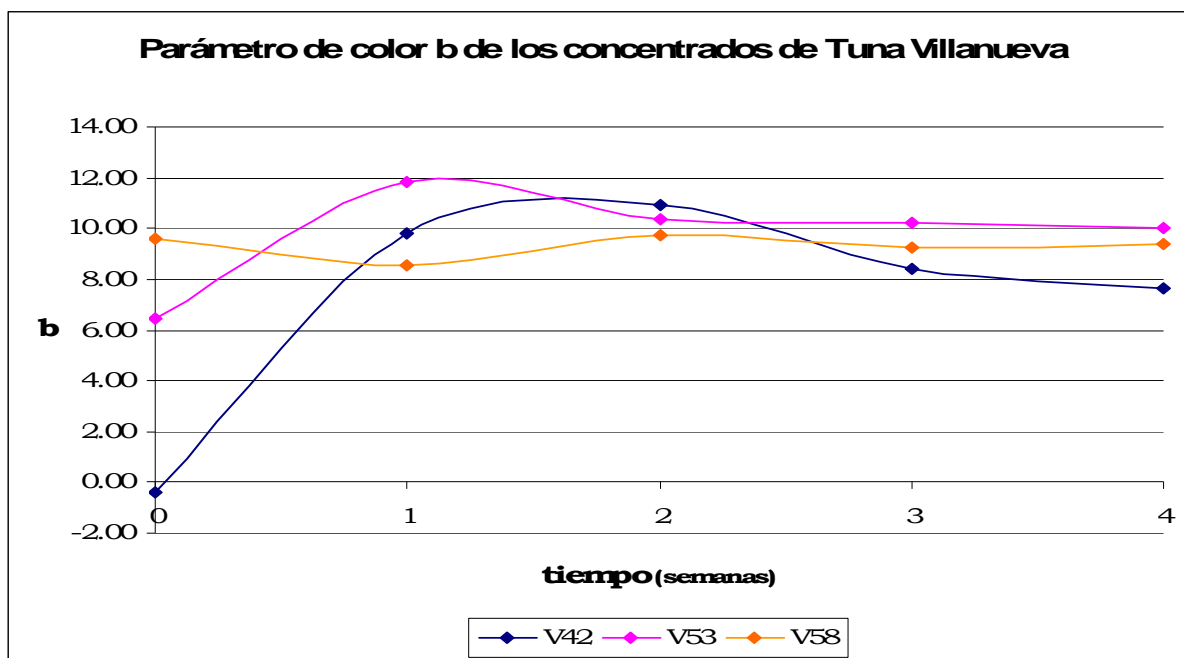


Fig. 19. Comportamiento del parámetro de color b del jugo de tuna Villanueva durante el almacenamiento.

De acuerdo con en análisis ANOVA, existe diferencia significativa con respecto al tiempo para los tres sistemas, sin embargo el V42 presenta la mayor dispersión en las medias. Los sistemas V53 y V58 no presentan diferencia significativa para las medias correspondientes a las semanas 2, 3 y 4.

Es claro que el jugo concentrado a 42 °Bx de la variedad Villanueva es el más inestable en color. Aún sin considerar los datos obtenidos para el tiempo 0, el jugo concentrado a 42 °Bx presenta una degradación de color con respecto al tiempo de almacenamiento, hay un cambio de color de verde amarillento a amarillo oscuro. Mientras que el jugo concentrado a 58°Bx de la misma variedad

presenta una mayor estabilidad en los parámetros de color medidos. Esto se puede explicar considerando que el agua disponible en el jugo concentrado a 42 °Bx es mayor a la que se encuentra en el concentrado a 58 °Bx, con lo cual se facilitan las reacciones fisiológicas en el jugo a 42 °Bx pudiendo ser causa de la degradación de color.

Para el caso de los concentrados de jugo de tuna Cardona, la medición de los parámetros de color presentó los siguientes resultados.

En cuanto a la luminosidad (**L**) (Fig. 20), se puede observar que salvo el primer punto del sistema R42, las mediciones se mantienen casi constantes. Lo cual se corrobora con el ANOVA, donde para el sistema R42, no existe diferencia significativa entre las medias. Como ya se ha mencionado el tiempo 0 para los concentrados a 42 °Bx involucra un error debido a que se midió con otra celda, por lo que no se consideró en el ANOVA.

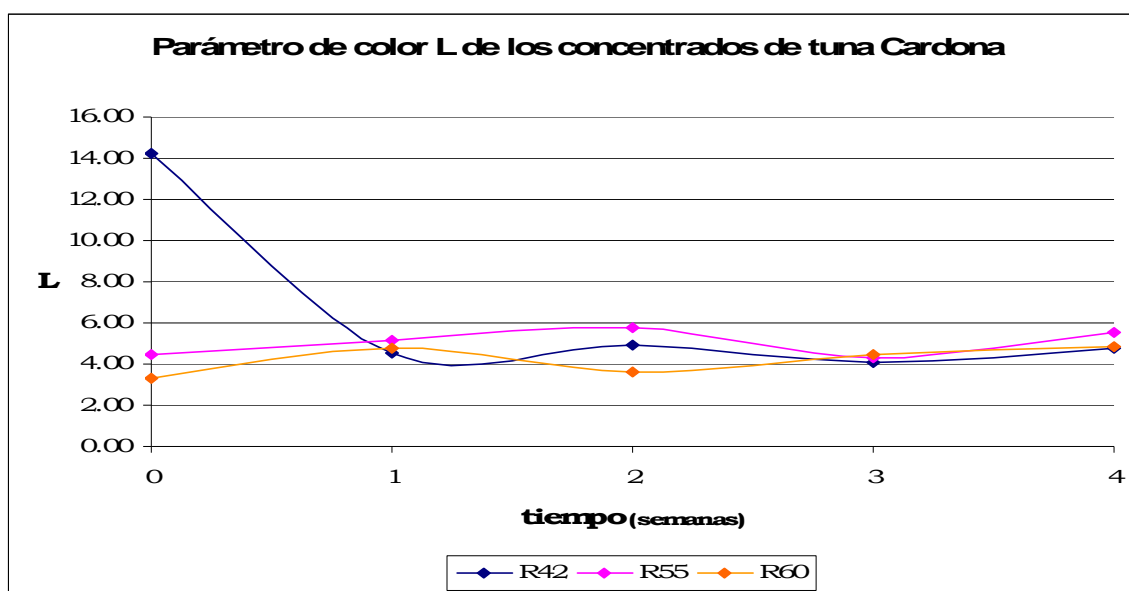


Fig. 20. Comportamiento del parámetro de color L del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

Sin embargo y a pesar de la cercanía de las medias de los sistemas R55 y R58, sí hay diferencia significativa entre éstas con respecto al tiempo ($P < 0.05$). En comparación con el jugo concentrado de la variedad Villanueva, no existen diferencias tan marcadas entre una concentración y otra, además claramente se puede observar los concentrados de tuna Cardona presentan una luminosidad mucho menor.

Los valores encontrados para el parámetro **a** que se muestran en la figura 21, indican al ser positivos, que la variedad Cardona tiene un color rojizo, nuevamente el jugo que presenta mayor disparidad es el R42, sin embargo eliminando el tiempo 0, a los demás tiempos sus valores fluctúan de manera similar a los otros dos sistemas.

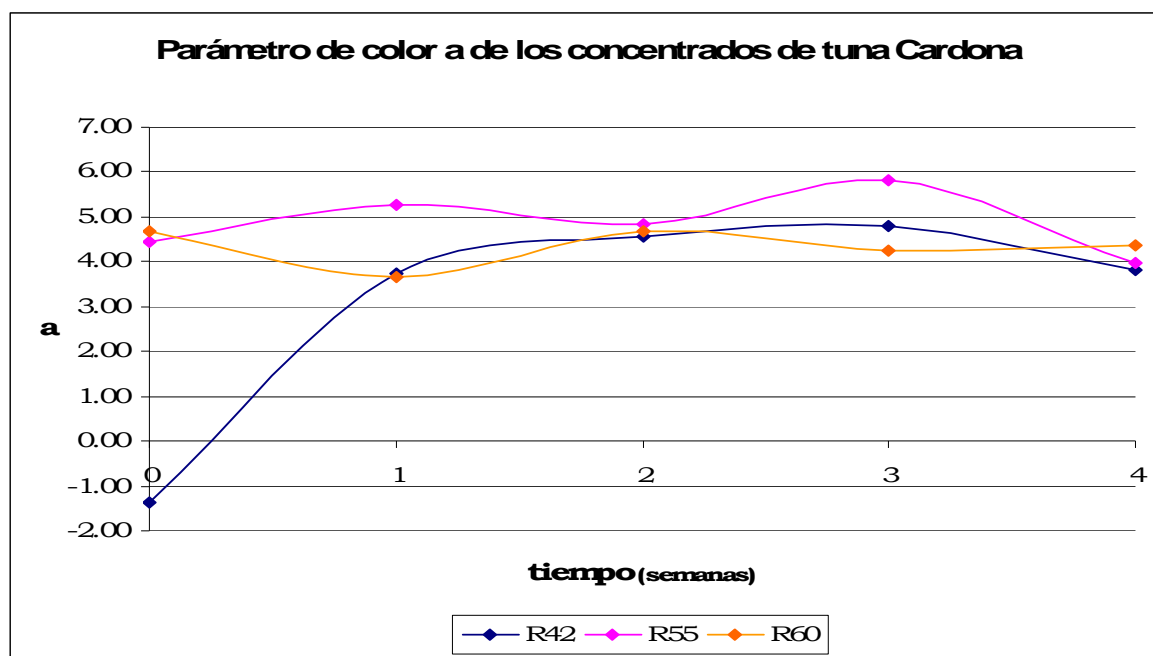


Fig. 21. Comportamiento del parámetro de color **a** del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

El ANOVA (Apéndice B) permite corroborar que no hay diferencia significativa en los valores del parámetro **a** de la semana 1 a la 4 del sistema R42, y además el

sistema R60 tampoco presenta diferencias significativas entre las medias con respecto al tiempo. El sistema R55 si presenta diferencias significativas a pesar de que los valores de las medias para este parámetro se encuentran cercanos en un rango de 4.3 a 5.5.

En la figura 22 se muestra la gráfica de los valores correspondientes al parámetro **b** de color, el cual va desde los tonos azules hasta los amarillos. Como se puede observar los valores para este parámetro de los jugos concentrados de la variedad Cardona se encuentran muy cercanos al eje con tendencia hacia los tonos amarillos.

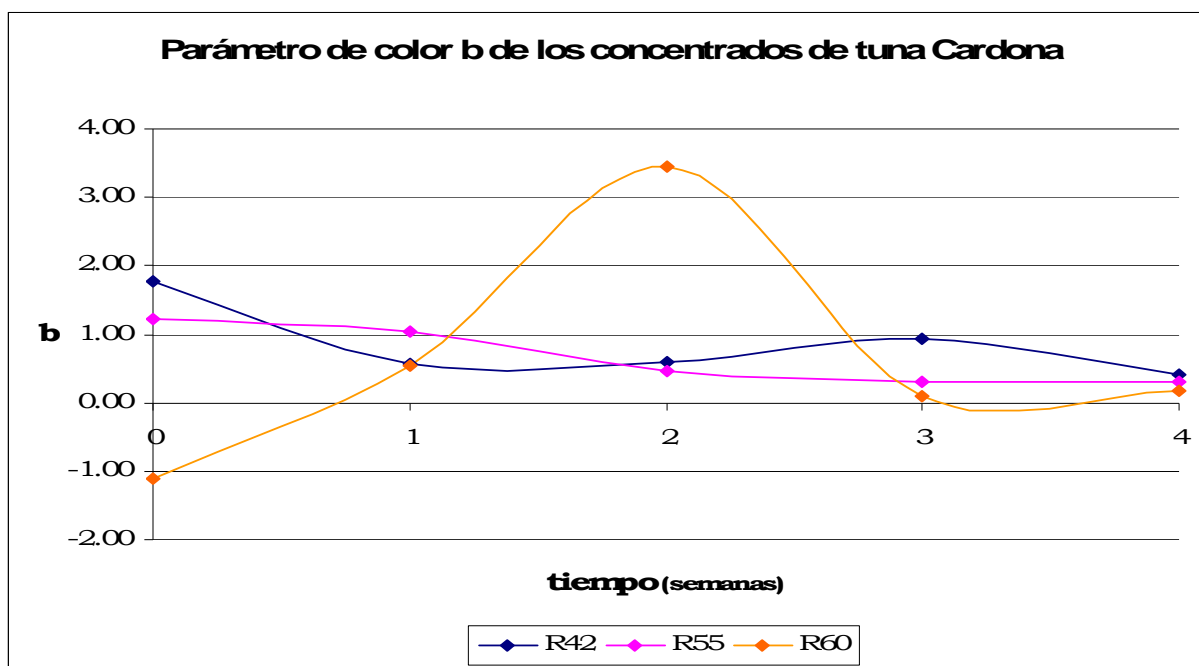


Fig. 22. Comportamiento del parámetro de color b del jugo de tuna Cardona durante el almacenamiento.

En este caso los valores del sistema R60 son los que presentan mayor disparidad, siendo el valor correspondiente a la tercera semana, el valor más lejano a las otras mediciones, a pesar de ello no e. En el caso del sistema R55 el ANOVA corroboró que no existe diferencia significativa entre los valores del parámetro **b**. Para el sistema R42 a pesar de que las medias no se encuentran muy separadas, el ANOVA mostró que existe diferencia significativa dada la lejanía que presentan los puntos medidos en las semanas 3 y 4.

A diferencia de los jugos concentrados de la variedad Villanueva, los de la tuna Cardona presentan mayor estabilidad en color, siendo únicamente el parámetro **b** del jugo concentrado a 60 °Bx el que presenta mayor diferencia con respecto a los otros concentrados. Dadas las tendencias presentadas, para los parámetros de color se puede afirmar que concentrando el jugo a 55 °Bx se tiene una buena estabilidad con lo cual se puede economizar el proceso de concentración a diferencia de lo que sucede con la variedad Villanueva.

En la tabla siguiente se muestran los valores del tono para la concentración de 40 ± 2 °Bx de los jugos de ambas variedades. Los valores correspondientes a los concentrados de la tuna Villanueva, se encuentran en el sólido de color en tonalidades de verde – amarillento, exceptuando el tiempo cero que se encuentra en un tono de verde más intenso. Mientras que para el caso de la tuna Cardona, los valores de tono muestran que se encuentran en los tonos rojizos – purpúreos.

Tabla XX. Valores de Tono para los jugos concentrados a 40 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	Tono	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Tiempo 0	193.25	307.45
Semana 1	115.80	8.70
Semana 2	110.31	7.27
Semana 3	108.46	11.16
Semana 4	103.18	6.15

El ANOVA se realizó con los valores del tono en radianes. La variedad Villanueva, no presentó diferencia significativa con respecto al tiempo de almacenamiento, a partir de la primera semana. Mientras que la variedad elaborada con tuna Cardona presenta una diferencia significativa entre el tiempo cero y las demás mediciones. Si se realiza el análisis eliminando el tiempo cero se puede observar con un nivel de confianza del 95%, que no hay diferencia significativa entre una semana y otra.

Evaluando el cambio neto de color (ΔE) con respecto a la semana 1 se encontraron los valores reportados en la Tabla XXI.

Tabla XXI. Cambio neto de color de los jugos concentrados a 40 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	ΔE	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Semana 1 y 2	2.03	0.93
Semana 1 y 3	3.63	1.21
Semana 1 y 4	5.35	0.27

El análisis de varianza al 95% de confianza muestra que a la concentración de 42 °Bx existe diferencia significativa ($P < 0.005$) en el cambio neto de color de los jugos concentrados de tuna de la variedad Villanueva. Mientras que a la misma

concentración el jugo de tuna Cardona no presenta cambios significativos de color durante el almacenamiento.

En el caso de los concentrados s 50 ± 2 °Bx (Tabla XXII) se vuelven a presentar valores de verde – amarillento para la variedad Villanueva mientras que para la variedad Cardona los valores obtenidos son de rojos – purpúreos.

Tabla XXII. Valores de Tono para los jugos concentrados a 55 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	Tono	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Tiempo 0	118.38	15.32
Semana 1	113.97	11.10
Semana 2	115.07	5.58
Semana 3	113.05	2.88
Semana 4	111.04	4.22

El ANOVA (Apéndice C) muestra que a pesar de que las medias se encuentran cercanas, existe una diferencia significativa entre las mediciones realizadas a tiempos diferentes, en lo que respecta al jugo concentrado de la variedad Villanueva. Mientras que los valores de tono para la tuna Cardona no presentan diferencia significativa con respecto al tiempo de medición.

El análisis estadístico de los valores de cambio neto de color (Tabla XXIII), permiten observar que para el jugo concentrado de la variedad Villanueva a 53 °Bx, no existe diferencia significativa en el cambio de color con respecto a la medición realizada en la semana 1.

Tabla XXIII. Cambio neto de color de los jugos concentrados a 55 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	ΔE	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Semana 1 y 2	2.88	0.95
Semana 1 y 3	2.19	1.26
Semana 1 y 4	3.73	1.53

De la misma manera el ANOVA, muestra que para los jugos concentrados de tuna cardona tampoco existe diferencia significativa en el cambio neto de color.

En el caso de los jugos concentrados a 60 ± 2 °Bx el valor del tono se muestra en la Tabla XXIV, ambas variedades presentan las mismas tendencias en color; los concentrados de la variedad Villanueva presentan una coloración verde –amarilla, mientras que los de tuna Cardona presentan colores rojizo – purpúreos.

Tabla XXIV. Valores de Tono para los jugos concentrados a 60 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	Tono	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Tiempo 0	116.79	346.77
Semana 1	120.82	8.34
Semana 2	114.95	36.55
Semana 3	113.62	1.12
Semana 4	112.31	2.40

El ANOVA para los concentrados de la variedad Villanueva, los valores de las medias de las semanas 2, 3 y 4 no presentan diferencias significativas, sin embargo el tiempo 0 y la semana 1 si tienen diferencia significativa. Para los concentrados de la variedad Cardona, se puede observar que existe diferencia significativa entre el tiempo 0 y la semana 2 con respecto al resto de los tiempos, los cuales no presentan diferencia significativa entre ellos.

En cuanto al cambio neto de color (Tabla XXV), el análisis de varianza indica que no hay diferencia significativa en el cambio neto de color para los concentrados a 58 °Bx de la variedad Villanueva. Contrario a lo que se podría espera, los jugos concentrados a 60 °Bx de la variedad Cardona muestran diferencia significativa con una P = 0.027, con respecto al tiempo. Siendo la diferencia entre la semana uno y la dos, el valor más alejado de las otras mediciones.

Tabla XXV. Cambio neto de color de los jugos concentrados a 60 ± 2 °Bx de las variedades Villanueva y Cardona.

	ΔE	
	Tuna Villanueva	Tuna Cardona
Semana 1 y 2	1.45	3.29
Semana 1 y 3	1.50	0.82
Semana 1 y 4	1.80	0.80

En cuanto a color, los jugos concentrados de la variedad Cardona presentan una mayor estabilidad en los parámetros de color que los concentrados de la variedad Villanueva. Siendo el concentrado a 42 °Bx de esta última el que presenta la menor estabilidad en color, posiblemente por tener mayor contenido de agua favoreciendo para reacciones fisiológicas durante el almacenamiento o dada la sensibilidad de los pigmentos a las condiciones de concentración y almacenamiento.

7.4 Propiedades reológicas de los jugos concentrados

7.4.1 Análisis de los parámetros reológicos

Los siguientes resultados corresponden a la reología de los jugos concentrados medidas durante el almacenamiento refrigerado. 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 medio (PEM) y la raíz cuadrada del error medio (RMSE). Tomando en cuenta los valores de las pruebas de bondad de ajusta, se eligió el modelo de Ley de Potencia ya que ajustaba más con las mediciones experimentales teniendo un menor error.

En cuanto a los concentrados de 42 °Bx, se encontró que el jugo de tuna Cardona presenta un comportamiento Newtoniano (Fig. 23), para ambas temperaturas de medición (10°C y 25°C). De igual manera, el jugo de tuna Villanueva podría considerarse como Newtoniano (Fig. 24).

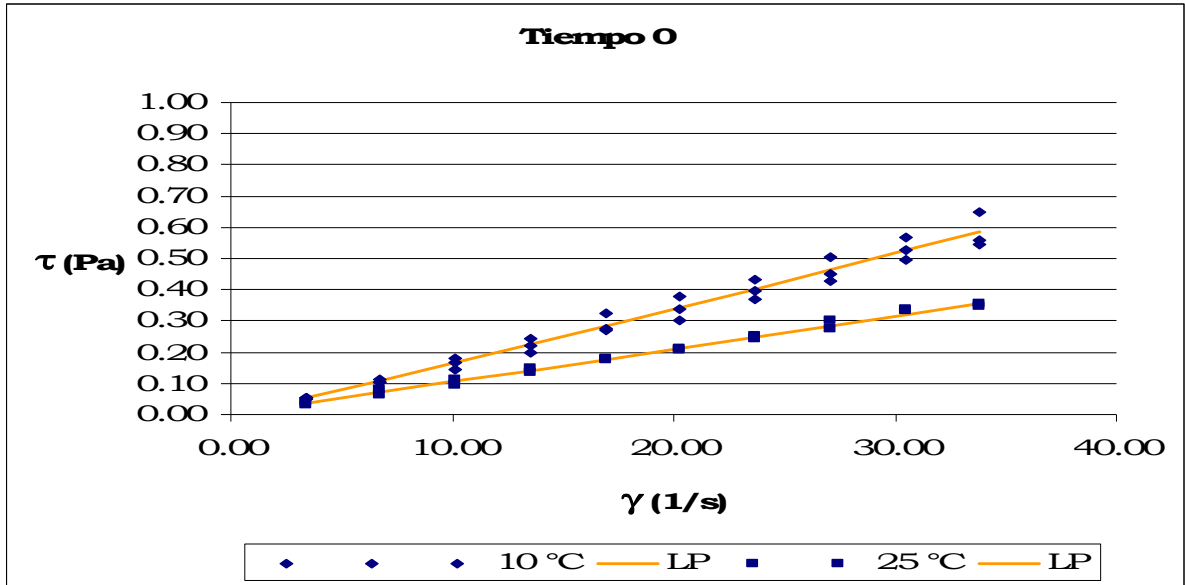


Fig. 23. Reograma para el jugo de concentrado a 42 °Bx a 10 y 25 °C.

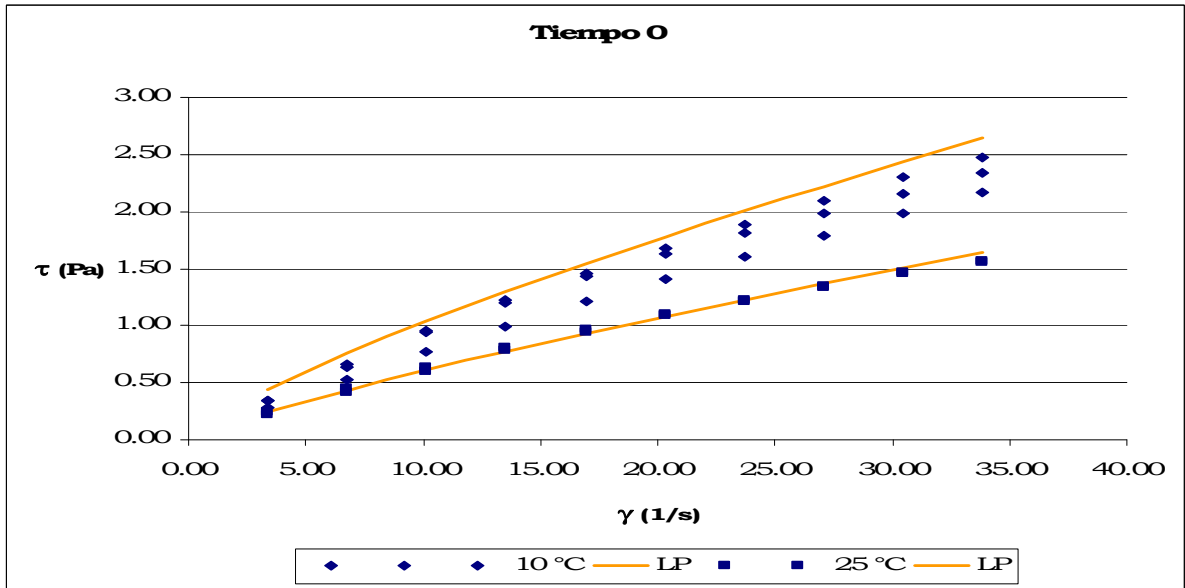


Fig. 24. Reograma para el jugo de tuna Villanueva concentrado a 42°Bx a 10 y 25°C.

Sin embargo al observar la evolución durante las cuatro semanas de estudio y al obtener las medias correspondientes a las propiedades reológicas (Tabla XXVI) por medio de la modelación, se puede observar que el comportamiento del jugo de

tuna Villanueva es ligeramente pseudoplástico, ya que presenta valores en el índice de flujo (n) menores a 1.

Tabla XXVI. Propiedades reológicas de jugo concentrado variedad Villanueva a 42°Bx.

Semana	10 °C		25 °C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	0.1198 ± 0.02	0.8527 ± 0.03	0.0892 ± 0.01	0.8272 ± 0.04
1	0.1715 ± 0.02	0.7765 ± 0.04	0.1019 ± 0.02	0.7685 ± 0.05
2	0.1257 ± 0.03	0.8024 ± 0.03	0.0808 ± 0.00	0.8004 ± 0.01
3	0.1122 ± 0.02	0.8216 ± 0.05	0.0692 ± 0.02	0.8623 ± 0.05
4	0.1078 ± 0.01	0.8289 ± 0.02	0.0808 ± 0.01	0.8004 ± 0.02

De acuerdo con el ANOVA al 95% (Apéndice C) existe una diferencia significativa entre los valores del coeficiente de consistencia (k) a la temperatura de 10 °C con respecto al tiempo. Esto debido a que la media obtenida para la medición realizada en la semana 1 se aleja de las otras 4, las cuales no tienen una diferencia significativa, para el mismo parámetro pero a 25 °C, no existe diferencia significativa entre las medias. Mientras que para el índice de flujo en ambas temperaturas no hay diferencia significativa entre las medias con respecto al tiempo.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades reológicas para el jugo concentrado a 42 °Bx de la variedad Cardona.

Tabla XXVII. Propiedades reológicas de jugo concentrado de la variedad Cardona a 42°Bx.

Semana	10 °C		25 °C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	0.0144 ± 0.00	1.0535 ± 0.07	0.0101 ± 0.00	1.0119 ± 0.03
1	0.0084 ± 0.00	1.2170 ± 0.03	0.0080 ± 0.01	1.1998 ± 0.25
2	0.0041 ± 0.00	1.4910 ± 0.24	0.0022 ± 0.00	1.4337 ± 0.02
3	0.0126 ± 0.00	1.0431 ± 0.04	0.0170 ± 0.00	0.8232 ± 0.04
4	0.0118 ± 0.00	1.1107 ± 0.13	0.0059 ± 0.00	1.1824 ± 0.13

El ANOVA (Apéndice C) realizado para esta variedad, mostró que para el parámetro k a 10 °C no existe diferencia significativa entre las medias, mientras que para el evaluado a 25 °C a pesar de tener poca dispersión en las medias si existe diferencia significativa. Esto debido a que la media correspondiente a la tercera semana de estudio se encuentra más separada del resto. En cuanto al parámetro n para ambas temperaturas presenta diferencia significativa entre las medias, sin embargo a 10 °C las medias presentan menos dispersión.

Al comparar las propiedades reológicas del jugo concentrado a 42°Bx de la variedad Villanueva con las su igual de la variedad Cardona, se puede observar que los coeficientes de consistencia (k) son menores para el caso del jugo concentrado de tuna Cardona. Esto indica, tal como se puede observar en la figura 25, que la viscosidad del jugo concentrado de variedad Cardona es menor que la del jugo concentrado de tuna Villanueva,

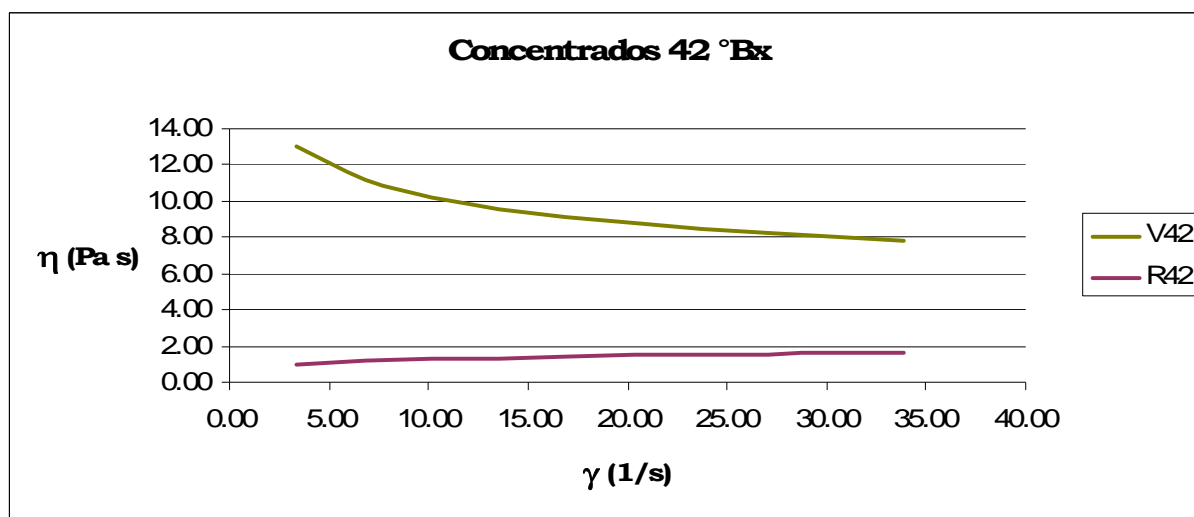


Fig. 25. Comportamiento de las viscosidades aparentes predichas con respecto a la velocidad de deformación a 10°C en la semana 1.

En los concentrados de 55 ± 2 °Bx se observó que ambas variedades presentan un comportamiento pseudoplástico más definido (Fig. 26 y 27).

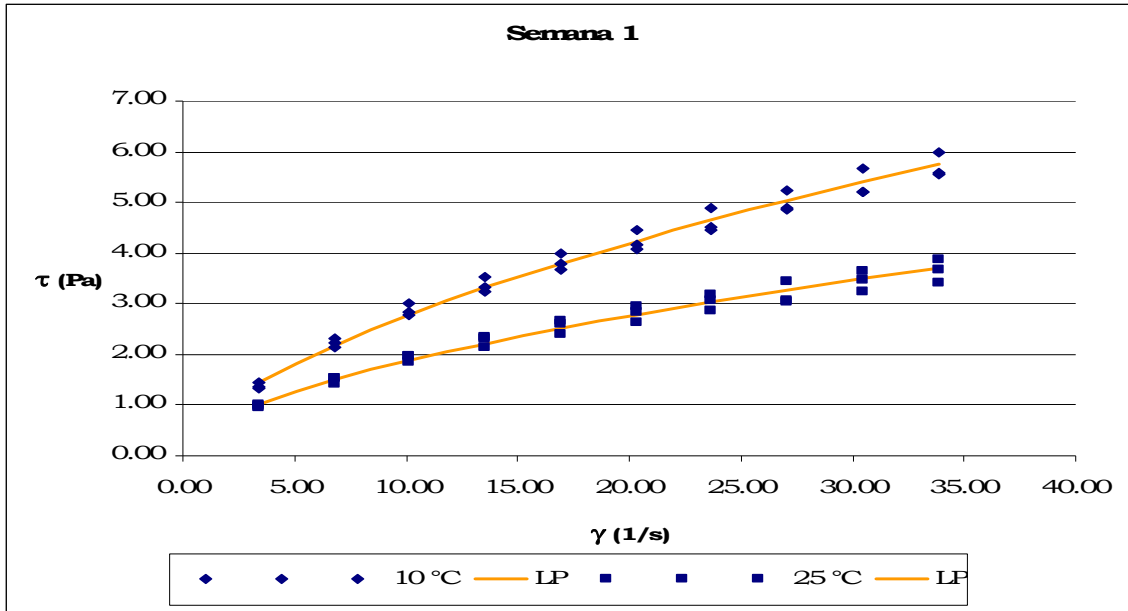


Fig. 26. Comportamiento reológico del jugo de tuna Cardona concentrado a 55°Bx a 10 y 25°C.

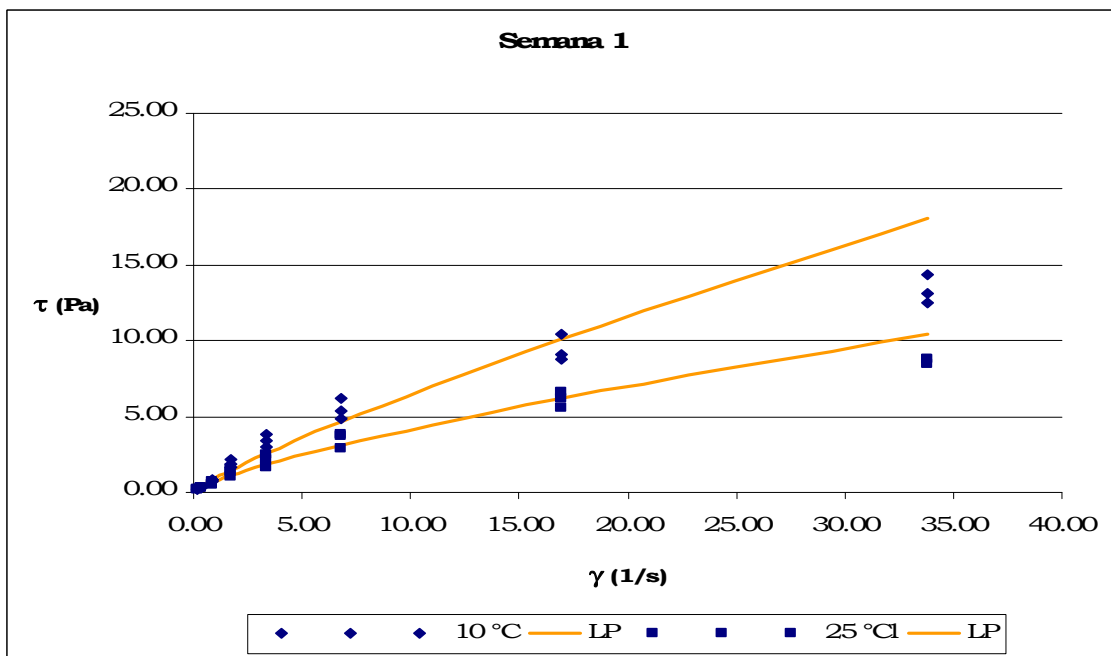


Fig. 27. Comportamiento reológico del jugo de tuna Villanueva concentrado a 53°Bx a 10 y 25°C.

Es posible apreciar que el ajuste del modelo para el jugo de la variedad Villanueva es menor para el último punto de la gráfica, esto puede deberse a que se cuenta con menos puntos intermedios, lo cual afectaría de manera negativa la

modelación. Cabe mencionar que dada la viscosidad de este jugo, fue necesario cambiar de viscosímetro del reómetro DV-III de bajas viscosidades al viscosímetro DV-I para altas viscosidades; a diferencia del jugo de tuna Cardona, el cual pudo ser medido adecuadamente con el DV-III.

El comportamiento de las viscosidades aparentes en ambos concentrados de 55 ± 2 °Bx (Fig. 28) presenta un comportamiento similar al que se observó para los concentrados de 42 °Bx, es decir el jugo de la variedad Cardona presenta una menor viscosidad.

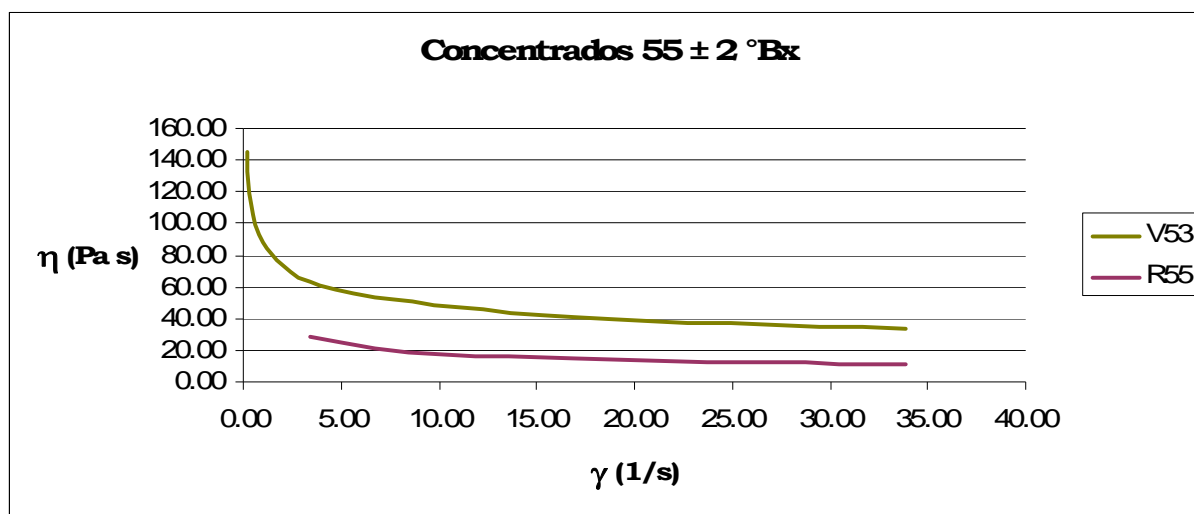


Fig. 28. Comportamiento de las viscosidades aparentes predichas con respecto a la velocidad de deformación a 25°C en la semana 2.

En cuanto al cambio en las propiedades reológicas, a esta concentración el jugo de la variedad Villanueva (Tabla XXVIII) a la temperatura de 10°C para el parámetro k , el ANOVA (Apéndice C) muestra que existe una diferencia significativa entre las medias obtenidas de la semana 1 a la 4 y la media al tiempo cero. Dada la diferencia de este valor con los demás y la tendencia que presentan los jugos de las otras concentraciones y al no tener crecimiento microbiano significativo que pudiera generar una degradación en el jugo, se

considera esta determinación como probable error experimental. Para el caso del coeficiente de consistencia a 25°C, vuelve a presentarse diferencia significativa con respecto al tiempo a pesar de que las medias encontradas fluctúan entre 0.73 y 1.15.

Por otro lado, para el índice de flujo a 10°C el ANOVA da como resultado que existe diferencia significativa entre las medias, mientras que para el mismo parámetro a 25°C no existe diferencia significativa.

Tabla XVIII. Propiedades reológicas de jugo variedad Villanueva concentrado a 53 °Bx.

Semana	10°C		25°C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	2.3696 ± 0.88	0.6054 ± 0.14	1.1584 ± 0.34	0.7144 ± 0.09
1	0.9284 ± 0.06	0.8431 ± 0.02	0.7304 ± 0.06	0.7543 ± 0.02
2	1.4809 ± 0.11	0.5841 ± 0.03	0.8895 ± 0.06	0.7268 ± 0.02
3	1.1167 ± 0.18	0.8137 ± 0.00	0.8976 ± 0.18	0.7572 ± 0.00
4	1.2358 ± 0.04	0.7912 ± 0.01	1.1071 ± 0.04	0.6809 ± 0.01

Los valores promedio obtenidos para el jugo de tuna Cardona de concentración 55 °Bx presentados en la tabla XXIX, se muestran más estables para el coeficiente de consistencia a 10 °C. Lo cual se ve corroborado por el ANOVA el cual muestra que no hay diferencia significativa entre las medias de los valores de k para dicha temperatura. Sin embargo, para los valores del coeficiente de consistencia a 25°C, el valor correspondiente a la semana 4 presenta una media que se aleja de las otras generando que haya una diferencia significativa. Para los valores de índice de flujo a 10 y 25 °C no hay diferencia significativa entre las medias obtenidas.

Tabla XXIX. Propiedades reológicas de jugo de la variedad Cardona concentrado a 55 °Bx.

Semana	10°C		25°C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	0.5727 ± 0.07	0.6507 ± 0.01	0.5307 ± 0.07	0.5953 ± 0.02
1	0.6886 ± 0.03	0.6033 ± 0.01	0.5110 ± 0.03	0.5623 ± 0.02
2	0.6936 ± 0.08	0.6122 ± 0.01	0.4665 ± 0.04	0.5874 ± 0.03
3	0.7604 ± 0.08	0.6478 ± 0.01	0.4665 ± 0.08	0.5874 ± 0.01
4	0.7078 ± 0.20	0.6836 ± 0.07	0.6413 ± 0.20	0.6019 ± 0.07

El comportamiento reológico de los jugos concentrados a 60 ± 2 °Bx, es de igual manera pseudoplástico. El modelo de Ley de potencia presenta poco ajuste para el último los puntos medidos a 10 °C (Fig. 29) y un mejor ajuste para todos los valores a 25 °C (Fig. 30).

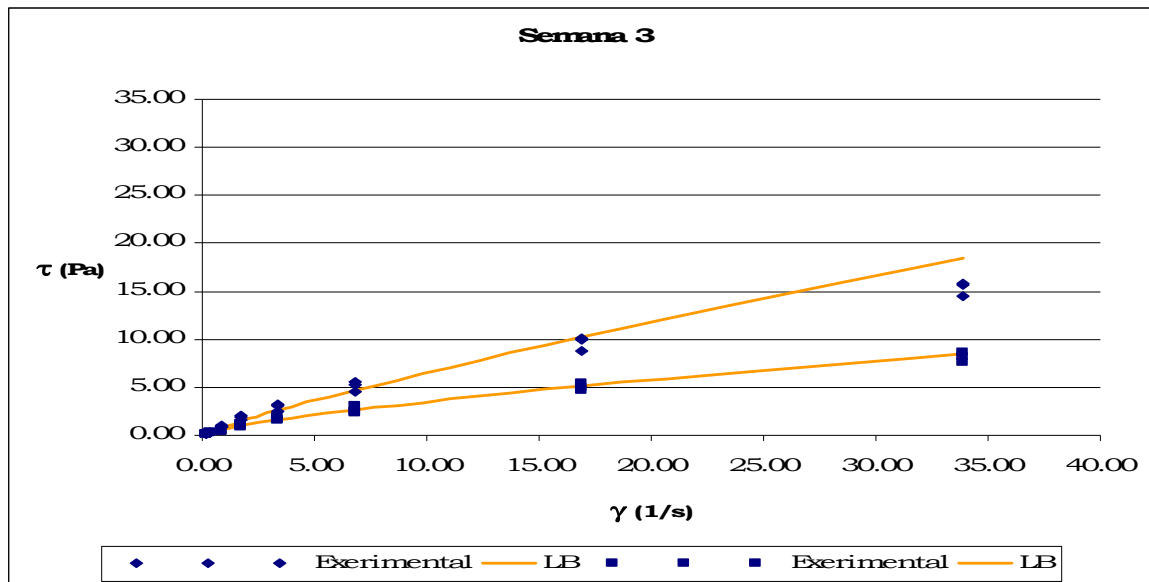


Fig. 29. Comportamiento reológico del jugo de tuna Cardona concentrado a 60°Bx a 10 y 25°C.

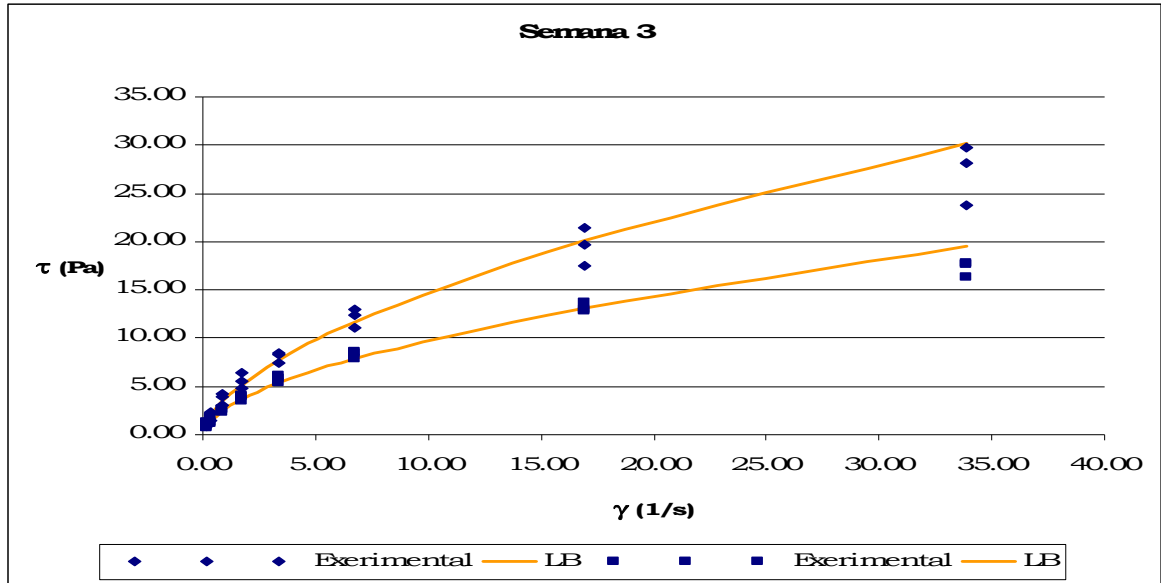


Fig. 30. Comportamiento reológico del jugo de tuna Villanueva concentrado a 58°Bx a 10 y 25°C.

Las propiedades reológicas del jugo de tuna de la variedad Villanueva de mayor concentración (Tabla XXX) presentan valores más estables. Como se puede corroborar con el ANOVA, no existe diferencia significativa entre las medias obtenidas para el parámetro k a 10 °C y a 25°C, a pesar de que las medias oscilan entre 1.93 y 2.68 el análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa entre sus medias. Para ambas temperaturas a esta concentración, no existe diferencia significativa entre las medias del índice de flujo.

Tabla XXX. Propiedades reológicas de jugo de tuna Villanueva concentrado a 58 °Bx.

Semana	10°C		25°C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	3.1875 ± 0.39	0.6160 ± 0.05	2.3757 ± 0.31	0.6086 ± 0.04
1	3.1875 ± 0.39	0.6160 ± 0.05	2.0311 ± 0.28	0.6675 ± 0.05
2	3.8925 ± 0.53	0.5609 ± 0.03	2.1873 ± 0.32	0.6327 ± 0.03
3	3.7832 ± 0.61	0.5902 ± 0.04	2.6895 ± 0.61	0.5621 ± 0.04
4	3.7621 ± 0.39	0.6114 ± 0.04	1.9381 ± 0.39	0.6572 ± 0.04

Para los valores de las propiedades del jugo de tuna de variedad Cardona a 60 °Bx (Tabla XXXI), existe diferencia significativa entre los valores de la medias obtenidas para el coeficiente de consistencia (**k**) a 10°C, el valor que se encuentra más alejado de las medias es obtenido a la semana 2. Del mismo modo existen diferencias significativas para los valores del mismo parámetro a 25 °C, nuevamente es el valor de la tercera semana el cual se encuentra más alejado de las medias. Para los valores del índice de flujo, no existe diferencia significativa entre las medias evaluadas a 10°C, sin embargo a 25°C el valor obtenido para la media del parámetro **n** en la semana 2 presenta diferencia significativa con respecto a las otras medias.

Tabla XXXI. Propiedades reológicas de jugo de tuna Cardona concentrado a 60 °Bx.

Semana	10°C		25°C	
	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}	k_{prom} (Pa s ⁿ)	n_{prom}
0	0.9248 ± 0.17	0.7815 ± 0.06	0.6881 ± 0.02	0.7202 ± 0.01
1	0.7676 ± 0.04	0.8653 ± 0.03	0.6228 ± 0.01	0.7035 ± 0.00
2	0.6982 ± 0.00	0.8022 ± 0.00	0.5370 ± 0.00	0.6417 ± 0.01
3	0.9270 ± 0.05	0.8493 ± 0.01	0.6556 ± 0.05	0.7251 ± 0.01
4	0.9814 ± 0.16	0.8053 ± 0.07	0.6232 ± 0.16	0.7038 ± 0.07

Comparando los valores obtenidos con los reportados por Vitali y Rao (1984) para jugo de naranja concentrado a 65 °Bx bajo en pulpa, de 2.06 Pa sⁿ para el coeficiente de consistencia y 0.781 para el índice de flujo a 10°C y a 20°C $k = 1.25$ Pa sⁿ y $n = 0.774$; se puede corroborar que presentan un comportamiento similar al los parámetros encontrados en este estudio.

El comportamiento de las viscosidades aparentes (Fig.31) en la concentración más elevada ($60 \pm 2^\circ\text{Bx}$) para ambos jugos presenta una tendencia similar a las concentraciones anteriores, ya que el jugo de la variedad Cardona tiene una menor viscosidad que su similar de la variedad Villanueva.

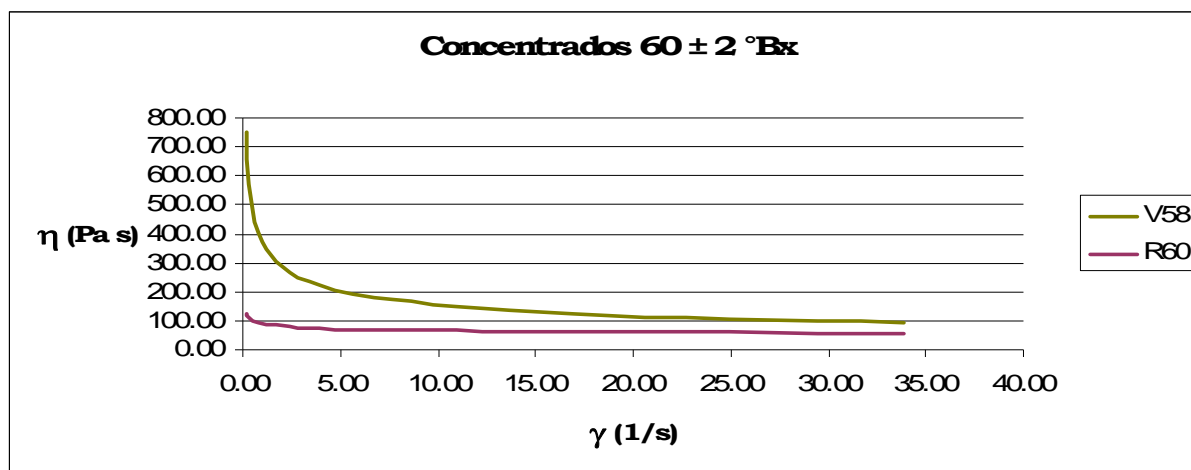


Fig. 31. Comportamiento de las viscosidades aparentes predichas con respecto a la velocidad de deformación a 10°C en la semana 4.

7.4.2 Efecto de la concentración y la temperatura en las propiedades reológicas

Para generar la ecuación que modelara el comportamiento de los parámetros reológicos con respecto a la temperatura, la concentración y el tiempo, se realizó un análisis estadístico de superficie de respuesta al 95% de confianza (Apéndice F) utilizando el software Minitab®. Esto se hizo después de intentar modelar los calores del coeficiente de concentración a través de las ecuaciones del tipo Arrhenius reportadas en la literatura (Harper y El – Salhrigi, 1965; Vitali y Rao, 1984; Vélez – Ruiz y Barbosa – Cánovas, 1998) sin obtener un ajuste satisfactorio.

El análisis de superficie se realiza evaluando la dependencia existente entre el parámetro reológico y las variables que se tienen, que en este caso son: la concentración, la temperatura y el tiempo. Dadas las diferencias existentes entre los parámetros reológicos de una variedad de tuna y la otra, se desarrollaron ecuaciones para ambas variedades.

En el desarrollo de cada ecuación se planteó un polinomio de segundo grado, y al hacer el análisis de superficie de respuesta, se eliminaron aquellos parámetros que no ejercían un efecto significativo en la ecuación.

El coeficiente de consistencia del jugo concentrado de la variedad Villanueva, no depende ni del tiempo, su correspondiente término cuadrático y la combinación del tiempo – temperatura y tiempo – concentración. Por tanto la ecuación queda de la siguiente forma:

$$k = 26.2383 - 1.2633X + 0.2075T + 0.0152X^2 - 0.0049XT \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde: k es el coeficiente de consistencia (Pa s^n)

X es la concentración ($^{\circ}\text{Bx}$)

T es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Esta ecuación tiene un ajuste del 91.9%.

En el caso del desarrollo de la ecuación para el índice de flujo, se encontró que únicamente la concentración y su término cuadrático tenían efecto en la predicción. Y por lo tanto la ecuación quedó de tipo cuadrático con una variable (Ec. 25).

$$n = -0.949207 + 0.08152X - 0.000941X^2 \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde: n es el índice de flujo (adimensional)

X es la concentración ($^{\circ}\text{Bx}$)

Para esta ecuación el ajuste es muy bajo dado que existía gran la dispersión de los datos experimentales, el ajuste que tiene esta ecuación es del 64.1%.

De la misma manera se obtuvieron los coeficientes para la ecuación que modelara el comportamiento del coeficiente de consistencia y para aquella que modelara el índice de flujo de los jugos concentrados de la variedad Cardona. Obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$k = -4.81279 - 0.044t + 0.15678X + 0.03525T + 0.01384t^2 - 0.00099X^2 - 0.00084XT \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde: k es el coeficiente de consistencia (Pa s^n)

t es el tiempo (semanas)

X es la concentración ($^{\circ}\text{Bx}$)

T es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Esta ecuación tiene un ajuste del 95.0%.

$$n = 11.9872 - 0.4204X - 0.0046T + 0.0039X^2 \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde: n es el índice de flujo (adimensional)

T es la temperatura (°C)

X es la concentración (°Bx)

Con un ajuste del 75.3%.

Las ecuaciones las propiedades reológicas del jugo concentrado de la variedad Cardona, presentan dos grandes diferencias con respecto a las ecuaciones de jugo de variedad Villanueva. La primera es que la ecuación del coeficiente de viscosidad de la variedad Cardona si es dependiente del tiempo mientras que para la variedad Villanueva no; y la segunda es que la ecuación del índice de flujo presenta dependencia a la temperatura y a la concentración, y la del jugo de variedad Villanueva sólo presenta dependencia de la concentración.

Es necesario recalcar que como señalan otros autores (Vitali y Rao 1984), la modelación con estas ecuaciones va a ajustar en buena proporción mientras se encuentre dentro de los límites de las condiciones experimentales de donde fueron obtenidas.

7.5 Análisis microbiológico de los jugos concentrados

El análisis microbiológico se realizó por duplicado, cada semana desde el tiempo cero hasta un lapso de cuatro semanas cuantificando mesófilos aerobios y mohos y levaduras como unidades formadoras de colonias (UFC) por mL de jugo.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para la prueba de mesófilos aerobios de los jugos concentrados de la variedad Villanueva.

Tabla XXXII. Resultados para la prueba de mesófilos aerobios para el jugo concentrado de la variedad Villanueva.

V42							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	5	6	0	0	0	0	55 *
1	3	3	0	0	0	0	30 *
2	1	0	0	0	0	0	10 *
3	4	7	0	0	0	0	55 *
4	0	0	0	0	0	0	<10
V53							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	4	4	0	0	0	0	40 *
1	1	2	0	0	0	0	15 *
2	1	0	0	0	0	0	10 *
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	1	0	0	0	0	0	10 *
V58							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	1	2	0	0	0	0	15 *
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	1	0	0	0	0	0	10 *
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10

* Valor estimado

Mientras que los valores correspondientes a la prueba para mohos y levaduras se presenta en la Tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. Resultados para la prueba de mohos y levaduras para el jugo concentrado de la variedad Villanueva.

V42							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	0	0	0	0	0	0	<10
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10
V53							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	0	0	0	0	0	0	<10
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10
V58							
Tiempo (Semanas)	Dilución						UFC/mL
	1:10		1:100		1:1000		
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	0	0	0	0	0	0	<10
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10

La cuenta microbiana obtenida tanto para mesófilos aerobios como para mohos y levaduras, para los jugos concentrados de la variedad Cardona se reportan en las Tablas XXXIV y XXXV.

Tabla XXXIV. Resultados para la prueba de mesófilos aerobios para el jugo concentrado de la variedad Cardona.

R42							
Tiempo (Semanas)	Dilución			UFC/mL			
	1:10	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000	UFC/mL
0	1	0	0	0	0	0	10 *
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	1	0	0	0	0	0	10 *
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10
R55							
Tiempo (Semanas)	Dilución			UFC/mL			
	1:10	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000	UFC/mL
0	3	0	0	0	0	0	15 *
1	2	0	0	0	0	0	10 *
2	3	2	0	0	0	0	25 *
3	1	2	0	0	0	0	15 *
4	1	0	0	0	0	0	10 *
R60							
Tiempo (Semanas)	Dilución			UFC/mL			
	1:10	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000	UFC/mL
0	9	7	0	0	0	0	80 *
1	2	5	0	0	0	0	35 *
2	2	5	0	0	0	0	35 *
3	1	0	0	0	0	0	10 *
4	0	0	0	0	0	0	<10

* Valor estimado

Tabla XXXV. Resultados para la prueba de mohos y levaduras para el jugo concentrado de la variedad Cardona.

R42							
Tiempo (Semanas)	Dilución			Dilución			UFC/mL
	1:10	1:100	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	1	0	0	0	0	0	10 *
2	0	0	0	0	0	-	<10
3	0	0	0	0	0	-	<10
4	0	0	0	0	0	-	<10
R55							
Tiempo (Semanas)	Dilución			Dilución			UFC/mL
	1:10	1:100	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	2	0	0	0	0	0	20 *
2	0	0	0	0	0	0	<10
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10
R60							
Tiempo (Semanas)	Dilución			Dilución			UFC/mL
	1:10	1:100	1:100	1:1000	1:1000	1:1000	
0	0	0	0	0	0	0	<10
1	0	0	0	0	0	0	<10
2	0	0	0	0	0	0	<10
3	0	0	0	0	0	0	<10
4	0	0	0	0	0	0	<10

* Valor estimado

Para ambas variedades de tuna se tiene que el número de UFC/mL esta por debajo del máximo estipulado para jugos y néctares de pasteurizados por la NOM – 130 – SSA1 – 1995; para mesófilos aerobios 100 UFC/mL y para mohos y levaduras 25 UFC/mL. El tener cargas microbianas bajas tal vez se deba a que durante el proceso de concentración, aunque no es un tratamiento térmico fuerte, los microorganismos presenten un daño sin posible recuperación que dificulte su reproducción. Lo cual llevaría a que las cargas microbianas disminuyeran con el tiempo.