

VISCOSIDADES DE LA PULPA DE MELOCOTÓN CONCENTRADA

Viscosidades de las pulpas concentradas de tuna

Antonio Alberto Grangeiro¹, Alejandro José de Melo Queiroz², Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo², Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcante Mata²

RESUMEN

La fruticultura tropical se destaca como uno de los segmentos más prometedores de la agricultura practicada en la región semiárida brasileña. La exploración de nuevas especies satisface este potencial, lo que justifica el objetivo de este trabajo en el que se estudiaron las viscosidades de pulpas de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) concentradas a 16, 19, 22, 25 y 28 °Brix, a temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 °C. Las pulpas se concentraron, se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -20 °C. Después de la descongelación, las viscosidades de las muestras se determinaron utilizando un viscosímetro Brookfield, modelo RVT, a ocho velocidades de deformación. Los datos experimentales sobre la viscosidad aparente en función de la temperatura se ajustaron utilizando la ecuación de Arrhenius. Todas las muestras mostraron un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico y las viscosidades aparentes disminuyeron al aumentar la temperatura. La ecuación de tipo Arrhenius demostró ser adecuada para predecir la viscosidad aparente en función de la temperatura.

Palabras clave: Procesamiento de *Opuntia ficus-indica*. Molino., frutas,

ABSTRACTO

El cultivo de frutas tropicales se destaca como uno de los segmentos más prometedores de la agricultura practicada en la región semiárida brasileña. El cultivo de nuevos frutos justifica el objetivo de este estudio en el que se estudiaron las viscosidades de tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.) concentradas a 16, 19, 22, 25 y 28 °Brix, y temperaturas a 10, 20, 30, 40, 50 y 60 °C. Las pulpas fueron concentradas, sometidas a congelación ultrarrápida en nitrógeno líquido y almacenadas a -20 °C.

Después de descongeladas, las muestras fueron sometidas a mediciones de viscosímetro (viscosímetro Brookfield, modelo RVT), en ocho velocidades de rotación. Los datos experimentales de viscosidad aparente en función de la temperatura fueron ajustados por la ecuación de Arrhenius. Todas las muestras presentaron un comportamiento no newtoniano y pseudoplástico. Las viscosidades aparentes disminuyeron con el aumento de la temperatura. La ecuación de Arrhenius fue apropiada para las predicciones de viscosidad aparente en función de la temperatura.

Palabras clave: *Opuntia ficus indica* Mill., procesamiento de frutos.

INTRODUCCIÓN

El Nordeste de Brasil, región de clima semiárido, con escasas precipitaciones, suelos someros y pedregosos, impone condiciones limitantes a la exploración de actividades agrícolas en un ciclo anual. En algunas microrregiones, la escasez de agua incluso restringe el uso del riego, donde la dificultad para utilizar esta práctica también se debe a la presencia de agua con un índice de salinidad inadecuado para su uso en cultivos. La exploración agrícola en estas condiciones debe centrarse en el estudio de cultivos adaptados a estas limitaciones, destacando la producción de frutas tropicales, actividad que se beneficia del clima cálido y la pequeña amplitud térmica a lo largo del año, respondiendo con calidad y productividad.

Entre las especies frutales que constituyen una alternativa económica para el semiárido brasileño y que pueden contribuir al desarrollo de la región, se destaca la tuna o fruto de la palma forrajera (*Opuntia ficus-indica* Mill.), planta que destaca de la familia de los cactus, excepcionalmente adaptados a las condiciones edafoclimáticas locales. Este cultivo se produce en la región para explotar cladodios o "raquetas", como alimento para animales. La palma, como es más conocida, crece perfectamente en el clima semiárido brasileño y, por tanto, produce forraje y frutos, incluso en años con menores precipitaciones. Según BARBERA (2001), los estados de Paraíba, Pernambuco y Alagoas son los principales productores. Sin embargo, la producción frutícola en estos estados se considera de menor importancia.

Sin embargo, la gran adaptabilidad de *Opuntia ficus-indica* a diferentes condiciones edáficas y climáticas permite que sea explotada en plantaciones del sureste del país para producir frutos, los cuales se exportan a Europa en los meses de marzo y abril.

La cadena iniciada en la producción de tuna debe apuntar, desde un inicio, a incorporar valor a la materia prima a través de agroindustrias capaces de beneficiar, procesar y diversificar al máximo la oferta de derivados. El procesamiento contribuye, en particular, a aumentar su consumo, ya que la manipulación de la fruta fresca es problemática debido a la presencia de pelos lignificados en su piel, capaces de perforar la piel humana. Además, los mercados actuales demandan alimentos que, además de calidad, sean prácticos de consumir y se presenten de diversas formas, como pulpas o purés, néctares, jugos, mermeladas, helados, dulces, etc. en el caso de las frutas.

Los consumidores más exigentes y con mayor poder adquisitivo han estimulado estudios encaminados a mejorar los procesos y mejorar la calidad de los productos agrícolas, lo que ha resultado en la adaptación de sistemas y equipos industriales. En el procesamiento industrial de pulpas, dulces y otros derivados de frutas en estado fluido o pastoso, los estudios de propiedades reológicas tienen aplicación fundamental. Según SARVACOS (1970), las características viscosas de los fluidos alimentarios se correlacionan con su calidad, con la percepción sensorial de los consumidores y también son fundamentales para el procesamiento de alimentos, diseño y evaluación de equipos como bombas, tuberías, intercambiadores de calor, evaporadores, esterilizadores, filtros y mezcladores. Así, los trabajos que estudian las características reológicas específicas de las frutas regionales realizan un aporte significativo a la fruticultura local, proporcionando información fundamental orientada a inversiones en el segmento agroindustrial.

Los zumos y pulpas de frutas forman parte, en la mayoría de los casos, del grupo de alimentos líquidos que no tienen

¹ Ingeniero Agrónomo, Maestro, UFCG

² Prof. Adjunto, Dr. UFCG. Rua Aprígio Veloso, 882, Apartado Postal 10.017. Agência Universitária, CEP 58109-970 PB. correo electrónico: alex@deag.ufcg.edu.br

comportamiento reológico simple, de tipo newtoniano, es decir, presentan viscosidades independientes de la velocidad de deformación y del esfuerzo cortante y varían con la temperatura (PELEGRINE et al., 2002). En los materiales antes mencionados predominan los comportamientos no newtonianos, con la resistencia al flujo expresada en términos de viscosidad aparente, definida como la relación instantánea entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, es decir, la derivada de la función de viscosidad en cada punto.

Una porción importante de los derivados del fruto presentan un comportamiento pseudoplástico (CABRAL et al., 2002; SUGAY et al., 2002; SILVA et al., 2005; VIDAL et al., 2006), siendo considerados los más comunes.

La principal ventaja de la concentración de pulpa de fruta es la reducción de volumen en relación a la cantidad de principios activos, ya sean nutricionales o sensoriales. Esto reduce los costos de transporte, embalaje y almacenamiento. También podemos mencionar la reducción de la actividad del agua, favoreciendo la conservación del producto.

El grado de concentración de las pulpas desde el punto de vista industrial tiene como prioridades el coste energético, el tiempo empleado en el proceso y la calidad final obtenida, que varían con el tipo de materia prima. En este trabajo, las concentraciones utilizadas se eligieron en base a un producto final con pocos cambios en términos de apariencia y olor en relación a la pulpa total. En cuanto a las temperaturas, el rango utilizado de 10 a 60°C cubre un rango que va desde temperaturas ambientales en las regiones Sur y Sudeste de Brasil en la estación fría hasta temperaturas utilizadas en procesamiento térmicos suaves (50 y 60°C).

Este trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la hipótesis de pseudoplasticidad y la relación entre temperatura y resistencia al flujo en pulpas de tuna mediante la determinación de las viscosidades aparentes a concentraciones de 16, 19, 22, 25 y 28º Brix, a temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60°C.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Almacenamiento y Procesamiento de Productos Agrícolas del Centro de Ciencia y Tecnología de la Universidad Federal de Campina Grande, PB.

Como materia prima se utilizaron tunas cosechadas en una zona rural ubicada en la microrregión semiárida de Cariri en Paraíba, aproximadamente a 35 km al suroeste de Campina Grande, PB.

Los frutos cosechados fueron llevados al laboratorio, donde se realizó una selección de frutos, eligiendo aquellos de mejor apariencia, sin daños físicos y en un estado de madurez que oscilaba entre semimaduros y maduros. Luego se lavaron con agua corriente, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio de 20 ppm durante 15 minutos y, transcurrido este tiempo, se enjuagaron con agua corriente.

El pelado fue manual, utilizando un cuchillo de acero inoxidable, cortando los frutos en los extremos basal y apical y luego a lo largo del eje longitudinal, para extraer la pulpa.

El despulpado se realizó en una despulpadora mecánica discontinua horizontal, del modelo Laboremus DF – 200, equipada con una criba con orificios de 2,5 mm de diámetro.

Las pulpas de tuna se concentraron a una temperatura de 60°C hasta alcanzar niveles de sólidos solubles totales de 16, 19, 22, 25 y 28 °Brix obtenidos en un evaporador.

Bomba rotativa de la marca QUIMIS, modelo Q-344B2, equipada con una bomba de vacío de la misma marca, modelo Q-355D2.

Las pulpas fueron envasadas en bolsas de polietileno de baja densidad, conteniendo 500 g cada unidad. Se utilizaron bolsas dobles para garantizar su integridad bajo temperaturas criogénicas, las cuales se cerraron con alambre flexible recubierto, apto para cerrar paquetes, a presión ambiente.

Las muestras empaquetadas fueron sometidas a

Congelación ultrarrápida, mediante inmersión en nitrógeno líquido, a una temperatura de –196°C.

Las muestras congeladas se almacenaron en un congelador horizontal a una temperatura aproximada de –20°C, de donde fueron retiradas para determinar los datos reológicos.

Para realizar las pruebas para obtener mediciones reológicas se utilizaron pulpas de tuna concentradas a 16, 19, 22, 25 y 28ºBrix. Utilizando un viscosímetro Brookfield, modelo RVT, se tomaron lecturas de torque a velocidades de rotación de 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20, 50 y 100 rpm, durando cada prueba 30 segundos. Las determinaciones se realizaron en seis repeticiones, con las pulpas a temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60°C, mantenidas en un baño termostático con circulación forzada de agua.

Las viscosidades aparentes se determinaron mediante conversión directa de la lectura de torque, siguiendo el procedimiento descrito en el manual del equipo.

Las viscosidades aparentes y la comparación entre medias mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad se realizaron mediante el programa informático ASSISTAT, versión 7.1 (SILVA & AZEVEDO, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas 1 a 5 muestran las viscosidades aparentes de la pulpa de tuna en concentraciones de 16, 19, 22, 25 y 28ºBrix, a diferentes temperaturas y velocidades de rotación del husillo.

Mediante análisis estadístico con una probabilidad del 5 % utilizando la prueba de Tukey que se muestra en las Tablas 1 a 5, se observan reducciones en la viscosidad aparente a todas las temperaturas a medida que aumenta la velocidad.

Si bien estas reducciones fueron consistentes y se observaron en todas las muestras, incluidas las posteriores, presentaron mayor magnitud a las velocidades de rotación más bajas en todas las concentraciones evaluadas, y en tal progresión que entre rotaciones de 50 y 100 rpm, a pesar de mantenerse las reducciones, no no difieren estadísticamente. EVANGELISTA et al. (2003), al estudiar las viscosidades de pulpas de umbu (*Spondias tuberosa*) en seis concentraciones y velocidades de deformación de 1, 10 y 20 rpm, informaron un comportamiento similar, con las mayores reducciones porcentuales en la viscosidad ocurriendo entre 1 y 10 rpm.

Entre temperaturas, hubo reducciones en las viscosidades en todos los casos a medida que se calentaban las muestras, pero más pronunciadas a velocidades más bajas, lo que se confirma por la mayor frecuencia de diferencias estadísticamente significativas observadas en estos casos. HAMINIUK et al. (2006) estudiaron el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de la pulpa entera de arachá (11,4ºBrix) y observaron que las viscosidades disminuyen con el aumento de la temperatura entre 10 y 50°C.

BRANCO & GASPARETTO (2003) estudiando el comportamiento reológico de mezclas ternarias de mango,

naranja y zanahoria, encontraron que a una velocidad de deformación de 50 s⁻¹, entre temperaturas de 10 y 60°C hubo una diferencia de 32.43% en la viscosidad aparente, cuantificando en este nivel la influencia de la temperatura sobre la viscosidad.

También se informan reducciones de la viscosidad con el calentamiento en FERREIRA et al. (2002) en un estudio reológico de pulpas de anacardo y guayaba. ASSIS et al. (2005) estudiaron muestras de jugo de cajá a temperaturas de 0 a 60°C y concentraciones de 7,8 a 30°Brix, verificando reducciones en la viscosidad aparente al aumentar la concentración y aumentar la velocidad de corte. HERNÁNDEZ et al. (1995), al estudiar los cambios en la viscosidad aparente del jugo de naranja ultrafiltrado y evaporado en altas concentraciones, a una velocidad de deformación de 100 s⁻¹, encontraron una disminución en la viscosidad aparente al disminuir la concentración y aumentar la temperatura, sin embargo, para los más bajos En concentraciones la influencia de la temperatura fue poco o nada significativa. TORRES et al. (2004) observaron una reducción en la viscosidad al aumentar

de temperatura y rotación al estudiar la viscosidad aparente de pulpas de umbu-cajá (*Spondias spp.*), a diferentes velocidades de deformación, a temperaturas de 10 a 60°C.

Las reducciones de viscosidad con el aumento de la velocidad de rotación y el consiguiente aumento en la tasa de deformación caracterizan a la pulpa de tuna como un fluido pseudoplástico. Las mayores reducciones en la viscosidad aparente entre las rotaciones inferiores probablemente indican la mala alineación inicial de las fibras de la pulpa con el flujo. A velocidades más altas, las fibras ya estarían completamente alineadas con el flujo y el aumento de la velocidad del flujo no se vería influenciado por este efecto. Las reducciones en la viscosidad aparente al aumentar la temperatura se atribuyen al aumento de las distancias intermoleculares causadas por el calentamiento. El aumento de las distancias reduce las fuerzas de atracción entre las moléculas, aumentando la fluidez.

Tabla 1 – Valores promedio de viscosidades aparentes (Pa s) de pulpa de tuna, en concentración 16°Brix, en temperaturas de 10 a 60 °C.

Rotación (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	10,60 aA	10,27 aA	9,67 aB	9,07 aC	8,53 d. C.	8,07 aE
1,0	5,87 bA	5,60 bAB	5,43 bB	4,97 bC	4,77 a. C.	4,40 bD
2,5	3,23 cA	3,12 cA	3,03 cA	2,61 cB	2,37 c. C.	2,12 cC
5,0	2,08 dA	1,95 dA	1,85 dAB	1,75 dAB	1,60 dB. C.	1,30 dC
10	1,32 eA	1,27 eAB	1,20 eAB	1,15 eAB	1,08 e. B.	0,96 dB
20	0,84 fA	0,80 fA	0,75 fA	0,70 fA	0,63 f. A.	0,57 eA
50	0,45 gA	0,42 gA	0,4 fgA	0,37 fgA	0,36 f. G.	0,33 eA
100	0,31 gA	0,29 gA	0,26 gA	0,26 gA	A. 0,25 g. A.	0,24 eA

MG: Promedio general; CV: Coeficiente de variación; DMS: Desviación Mínima Significativa;

Nota: las medias seguidas de la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las filas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad;

columnas DMS = 0,36; líneas DMS = 0,34; MG = 2,70 Pa·s; CV% = 7,63.

Tabla 2 – Valores promedio de viscosidad aparente (Pa s) de pulpa de tuna, a una concentración de 19°Brix, a temperaturas de 10 a 60°C.

Rotación (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	15,60 aA	14,40 aB	13,60 aC	12,87 dC	12,13 aE	11,20 aF
1,0	10,60 bA	9,63 bB	8,63 aC	7,63 bD	7,13 bE	6,17 bF
2,5	6,39 cA	5,79 cB	4,93 cC	4,13 cD	3,75 cE	3,47 cE
5,0	4,02 dA	3,81 dA	3,43 dB	2,80 dC	2,37 dD	2,21 dD
10	2,36 eA	2,26 eA	2,15 eAB	1,79 eBC	1,51 eCD	1,36 eD
20	1,36 fA	1,31 fAB	1,28 fABC	1,12 fABC	0,97 fBC	0,91 fC
50	0,67 gA	0,65 gA	0,62 gA	0,59 gA	0,51 gA	0,47 gA
100	0,47 gA	0,45 gA	0,44 gA	0,37 gA	0,34 gA	0,31 gA

MG: Promedio general; CV: Coeficiente de variación y DMS: Desviación mínima significativa;

Nota: las medias seguidas de la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las filas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad;

columnas DMS = 0,40; líneas DMS = 0,38; MG = 4,19 Pa·s; CV% = 5,40.

Tabla 3 – Valores promedio de viscosidad aparente (Pa s) de la pulpa de tuna, a una concentración de 22°Brix, a temperaturas de 10 a 60 °C.

Rotación (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	24,33 aA	23,67 aA	22,33 aB	21,67 aB	20,67 aC	20,00 aC
1,0	16,00 bA	15,42 bA	13,92 bB	13,25 bBC	12,83 bCD	12,25 bD
2,5	8,73 cA	8,33 cAB	7,97 cB	6,97 cC	6,67 cCD	6,03 cD
5,0	5,53 dA	5,38 dA	5,20 dAB	4,57 dBC	4,15 dCD	3,88 dD
10	3,70 eA	3,64 eAB	3,51 eAB	3,00 eBC	2,76 eC	2,50 eC
20	2,39 fA	2,32 fA	2,11 fA	1,93 fA	1,78 fA	1,73 fA
50	1,14 gA	1,12 gA	1,06 gA	0,97 gA	0,94 gA	0,91 gA
100	0,69 gA	0,67 gA	0,64 gA	0,61 gA	0,59 gA	0,58 gA

MG: Promedio general; CV: Coeficiente de variación; DMS: Desviación Mínima Significativa;

Nota: las medias seguidas de la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las filas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad

DMS columnas = 0,72; líneas DMS = 0,68; MG = 6,90 Pa·s; CV% = 5,95.

Tabla 4 – Valores promedio de viscosidad aparente (Pa s) de la pulpa de tuna, a una concentración de 25°Brix, a temperaturas de 10 a 60°C.

Rotación (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	40,33 aA	30,67 aB	28,17 aC	26,83 dC	25,83 aE	25,17 aE
1,0	21,50 bA	20,67 bA	17,08 bB	16,50 bBC	16,00 bCD	15,50 bD
2,5	10,00 cA	10,90 cA	8,97 cB	8,37 cBC	7,87 cC	7,40 cC
5,0	6,40 dAB	7,32 dA	6,50 dAB	5,88 dBC	5,27 dC	5,17 CC
10	4,42 eAB	4,93 eA	4,32 eAB	3,92 eB	3,71 eB	3,60 eB
20	3,10 fA	2,96 fA	2,64 fA	2,44 fA	2,36 fA	2,32 fA
50	1,65 gA	1,40 gA	1,31 gA	1,23 gA	1,20 gA	1,16 gA
100	1,03 gA	0,81 gA	0,76 gA	0,73 gA	0,71 gA	0,70 gA

MG: Promedio general; CV: Coeficiente de variación; DMS: Desviación Mínima Significativa;

Nota: las medias seguidas de la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las filas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad;

columnas DMS = 1,03; líneas DMS = 0,97; MG = 8,91 Pa·s; CV% = 6,55.

Tabla 5 – Valores promedio de viscosidad aparente (Pa s) de la pulpa de tuna, a una concentración de 28°Brix, a temperaturas de 10 a 60°C.

Rotación (rpm)	Temperatura (°C)					
	10	20	30	40	50	60
0,5	58,33 aA	55,67 aB	52,00 aC	48,33 dC	45,33aE	42,33 aF
1,0	36,50 bA	32,50 bB	30,33 aC	28,00 bD	26,33bD	23,17 bE
2,5	19,53 cA	17,27 cB	14,67 aC	13,33 cCD	11,73cDE	10,20 cE
5,0	13,43 dA	11,67 dAB	10,10 aC	9,20 dC	8,43dC	6,40 dD
10	7,88 eA	7,42 eA	6,70 aC	6,20 eABC	5,40eBC	4,52 deC
20	4,63 fA	4,34 fA	4,01 aC	3,68 fA	3,43efA	3,14 efA
50	2,28 gA	2,13 gA	2,04 aC	1,90 fgA	1,76fgA	1,70 fgA
100	1,38 gA	1,30 gA	1,27 aC	1,19 gA	1,12gA	1,07 gA

MG: Promedio general; CV: Coeficiente de variación; DMS: Desviación Mínima Significativa.

Nota: las medias seguidas de la misma letra minúscula en las columnas y mayúscula en las filas no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad;

columnas DMS = 2,02; Líneas DMS = 1,90; MG = 14,69 Pa·s; CV% = 7,80.

Las tablas 6 a 10 presentan los parámetros viscosidad teórica (η) y energía de activación (E_a) estimados mediante la ecuación de Arrhenius, para valores experimentales de viscosidad aparente en función de la temperatura, de muestras a concentraciones de 16 a 28°Brix y velocidades de rotación de 0,5 a 100 rpm. También se presentan los coeficientes de determinación (R^2) para los respectivos ajustes. Se observa que los valores de

la energía de activación osciló entre 3,04 y 10,64 kJ g⁻¹ mol⁻¹ y no varió con la velocidad de rotación. Las energías de activación tampoco se vieron influenciadas por la concentración de las muestras, al contrario de lo que CEPEDA et al. (2002) estudiando jugo de arándano en concentraciones entre 24,9 y 60,7°Brix. La diferencia en los resultados puede deberse al rango de concentración utilizado en el presente trabajo, aproximadamente la mitad de la concentración de las muestras del autor citado. Los coeficientes de determinación.

resultó en valores superiores a 0,90 en la mayoría de las muestras, lo que demuestra una buena predicción de la viscosidad aparente en función de la temperatura.

Se observa que los valores de energía de activación variaron desde 3.04, en la muestra a 22° Brix, hasta 10.64 kJ g⁻¹ mol⁻¹ en la muestra a 28° Brix, y que no siguieron la velocidad de rotación, como se observa. el hecho de que los valores más altos de Ea se determinaron a velocidades de rotación intermedias. Esto significa que no se demostró la influencia de la velocidad de rotación en la energía de activación, lo que coincide con los hallazgos hechos a partir de los datos de las Tablas 1 a 5, donde hubo poca influencia de rotaciones más altas en la variación de las viscosidades. Las energías de activación tampoco se vieron influenciadas por la concentración de las muestras, al contrario de lo que CEPEDA et al. (2002) estudiando jugo de arándano en concentraciones entre 24,9 y 60,7°Brix. La diferencia en los resultados puede deberse al rango de concentración utilizado en el presente trabajo, aproximadamente la mitad de la concentración en comparación con las muestras del autor citado. Los coeficientes de determinación dieron como resultado valores superiores a 0,90 en la mayoría de las muestras, lo que demuestra una buena predicción de la viscosidad aparente en función de la temperatura.

Tabla 6 - Valores teóricos de viscosidad y energía de activación de la pulpa de tuna a partir de la ecuación de Arrhenius para muestras con 16°Brix.

Velocidad de rotación (rpm)	O_0 (Pastor)	Ea (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R2
0,5	0,50	4,42	0,98
1,0	-0,12	4,48	0,97
2,5	-1,66	6,79	0,93
5,0	-2,04	6,61	0,89
10	-1,73	4,78	0,94
20	-2,74	6,12	0,97
50	-2,81	4,74	1,00
100	-2,69	3,55	1,00

O_0 : Viscosidad inicial; Ea: Energía de activación; R2

:Coeficiente de determinación.

Tabla 7 - Valores teóricos de viscosidad y energía de activación de la pulpa de tuna a partir de la ecuación de Arrhenius para muestras con 19°Brix.

Velocidad de rotación (rpm)	O_0 (Pastor)	Ea (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R2
0,5	0,63	4,98	0,99
1,0	-1,17	8,34	0,99
2,5	-2,45	10,18	0,99
5,0	-2,94	10,32	0,96
10	-2,96	9,16	0,93
20	-2,49	6,70	0,92
50	-2,74	5,60	0,92
100	-3,64	6,91	0,93

O_0 : Viscosidad inicial; Ea: Energía de activación; R2 :

Coeficiente de determinación.

Tabla 8 - Valores teóricos de viscosidad y energía de activación de la pulpa de tuna a partir de la ecuación de Arrhenius para muestras con 22°Brix.

Mol-1) velocidad	O_0 (Pastor)	Ea (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R2
5,91 5,0 5,95 10 de rotación (rpm)	0,5 3,17 1,0 4,35 2,5		
6,54 5,59 3,88 3,04	1,85		0,99
	0,93		0,98
	-0,31		0,96
	-0,77		0,94
	-1,41		0,92
20	-1,48		0,98
50	-1,50		0,97
100	-1,66		0,98

O_0 : Viscosidad inicial; Ea: Energía de activación; R2

:Coeficiente de determinación.

Tabla 9 - Valores teóricos de viscosidad y energía de activación de la pulpa de tuna a partir de la ecuación de Arrhenius para muestras con 25°Brix.

mol-1) velocidad	O_0 (Pastor)	Ea (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R2
5,69 5,0 4,75 de rotación (rpm)	0,5 6,67 1,0 5,52 2,5		
4,38 4,98 5,20 5,40	0,76		0,83
	0,71		0,91
	-0,05		0,91
	-0,06		0,72
10	-0,30		0,76
20	-0,99		0,96
50	-1,76		0,92
100	-2,36		0,80

O_0 : Viscosidad inicial; Ea: Energía de activación; R2

:Coeficiente de determinación.

Tabla 10 - Valores teóricos de viscosidad y energía de activación de la pulpa de tuna a partir de la ecuación de Arrhenius para muestras con 28°Brix.

Velocidad de rotación (rpm)	O_0 (Pastor)	Ea (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R2
0,5	1,91	5,12	0,99
1,0	0,76	6,67	0,99
2,5	-1,30	10,08	1,00
5,0	-1,90	10,64	0,96
10	-1,48	8,46	0,95
20	-1,04	6,10	0,99
50	-1,18	4,73	0,99
100	-1,39	4,05	0,99

O_0 : Viscosidad inicial; Ea: Energía de activación; R2 :

Coeficiente de determinación.

CONCLUSIONES

Las viscosidades aparentes, en todas las concentraciones, fueron influenciadas de manera estadísticamente significativa por la velocidad de deformación hasta 20 rpm; y por temperatura hasta velocidades de deformación de 5 rpm. A todas las velocidades de deformación y a todas las temperaturas, las viscosidades aparentes aumentaron al aumentar la concentración.

Las muestras demostraron un comportamiento pseudoplástico no newtoniano; Las viscosidades aparentes en función de la temperatura se estimaron satisfactoriamente utilizando la ecuación de Arrhenius.

REFERENCIAS

- ASÍS, MMM; TADINI, CC; LANNES SCS Influencia de la temperatura y la concentración en las propiedades reológicas del jugo de Caja (Spondia mombin, L). En: EUROTHERM 77 Transferencia de calor y masa en procedimientos alimentarios... Parma, 2005. v.1, p.65-68 BARBERA, G. Historia e importancia económica y agroecológica. En: BARBERÁ, G.; INGLÉS, P.; BARRIOS, E.
- P. Agroecología, cultivo y usos del nopal tunero. Paraíba: SEBRAE, 2001. cap. 1, pág. 1-11.
- BLANCO, IG; GASPARETTO, CA Aplicación de la metodología de superficie de respuesta para estudiar el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de mezclas ternarias de pulpa de mango y jugos de naranja y zanahoria. Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Campinas, v. 23, (suplemento), pág. 166-171, 2003.
- CABRAL, MFP; QUEIROZ, AJM; FIGUEIREDO, RM F. Comportamiento reológico de la pulpa tamizada de cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum.). Revista Brasileira de Productos Agroindustriales, Campina Grande, v. 4, núm. 1, pág. 37-40, 2002.
- CEPEDA, E.; HERMOSA, M.; LLORENS, F.; VILLARÁN, M. C. Comportamiento reológico del jugo turbio de arándano (Vaccinium corymbosum L.). Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Londres, v. 37, n. 3, p. 271-276, 2002.
- EVANGELISTA, IJ; QUEIROZ, AJM; FIGUEIRÊDO, R. MF Viscosidades aparentes de las pulpas de umbu. En: CONGRESO BRASILEÑO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 32. de 2003, Goiânia. Anales... Jaboticabal: SBEA, 2003. CD-ROM.
- FERREIRA, gerente general; QUEIROZ, AJM; CONCEAÇÃO, RS et al. Efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de pulpas de anacardo y guayaba. Revista de Ciencias Exactas y Naturales, Guarapuava, v. 4, núm. 2, pág. 175-183, 2002.
- HAMINIUK, CWI; SIERAKOWSKI, SEÑOR; VIDAL, J.R.M. B.; MASSON, ML Influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa entera de araçá (Psidium puppyianum Sabino). Ciencia y tecnología de los alimentos, Londres, v. 39, n.4, pág. 426-430, 2006.
- HERNÁNDEZ, E.; CHEN, CS; JOHNSON. J.; CARTER, R. D. Cambios de viscosidad en el jugo de naranja después de la ultrafiltración y evaporación. Journal of Food Engineering, Nueva York, v. 25, n. 3, p. 387-396, 1995.
- PELEGRINE, DH; SILVA, FC; GASPARETTO, CA Comportamiento reológico de pulpas de piña y mango. Ciencia y tecnología de los alimentos, Londres, v. 35, n.8, pág. 645-648, 2002.
- SARAVACOS, GD Efecto de la temperatura sobre la viscosidad de jugos y purés de frutas. Journal of Food Science, Chicago, v. 35, n. 2, p. 122-125, 1970.
- SILVA, FC; GUIMARÃES, DHP; GASPARETTO, CA Reología del jugo de acerola: efectos de la concentración y la temperatura. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Campinas, v. 25, n. 1, pág. 121-126, 2005.
- SILVA, FAS; AZEVEDO, CAV Versión del programa informático Assistet para el sistema operativo Windows. Revista Brasileira de Productos Agroindustriales, Campina Grande, v. 4, núm. 1, pág. 71-78, 2002.
- SUGAI, AY; TADINI, CC; TRIBESS, TB Influencia de la temperatura del tratamiento térmico en los parámetros reológicos del puré de mango (Mangifera indica L.) variedad Haden. En: CONGRESO BRASILEÑO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS, 18. de 2002, Porto Alegre.
- Anais.do XVIII CBCTA. Porto Alegre: SBCTA, 2002. p.1857-1860.
- TORRES, LBV; QUEIROZ, AJM; FIGUEIRÊDO, RM F. Viscosidades aparentes de las pulpas de umbu-cajá. En: CONGRESO BRASILEÑO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 33. de 2004, São Pedro. Anales... Jaboticabal: SBEA, 2004. CD-ROM.
- VIDAL, JRMB; SIERAKOWSKI, SEÑOR; HAMINIUK, CW I; MASSON, ML Propiedades reológicas de la pulpa de mango centrifugada (Mangifera indica L. cv. Keitt). Ciencias agrotécnicas de Lavras, Lavras, v. 30, núm. 5, pág. 955-960, 2006.