



Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno

Flow behavior and physicochemical characterization of peach pulps

Ernesto Muñoz Puentes* ; Luis A. Rubio; María S. Cabeza

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael, Mendoza, Argentina. Tel.: +(54)-260-4430673; Fax: +(54)-260-4421947.

Recibido 25 enero 2012; aceptado 26 abril 2012

Resumen

Se efectuaron análisis reológicos y fisicoquímicos en nueve variedades de pulpas de durazno de Mendoza (Argentina) en un rango de concentración de sólidos solubles (12.5 a 28°Brix) y temperaturas (30 a 50°C). En este estudio se determinaron parámetros reológicos: coeficiente de consistencia e índice de comportamiento al flujo, utilizando viscosímetros del tipo rotacional y fisicoquímicos (metodología propuesta por AOAC): sólidos solubles, pH, contenido de agua, sólidos insolubles, acidez y contenido de pectina (método espectrofotométrico). La reología de las pulpas siguió el modelo de la Ley de la Potencia para todas las condiciones estudiadas, comportándose como fluidos pseudoplásticos. El análisis de cluster estableció 2 grupos con diferencias significativas (Grupo 1: Halford, Andross, Astengo, Bowen, Sim's Cling y Grupo 2: Fortuna, Loadel y Palora; la variedad Sullivan Cling no pudo asignarse a ninguno de los grupos).

Palabras clave: reología, pulpa de durazno, propiedades fisicoquímicas, sólidos solubles, temperatura, ley de potencia, pseudoplástico.

Abstract

Rheological and physicochemical analyses were conducted on nine varieties of peach pulps from Mendoza (Argentina) at a range of soluble solids concentration (12.5 to 28°Brix) and temperatures (30 to 50°C). The rheology of the pulps followed the power law model for all conditions, behaving as pseudoplastic fluids. Rheological: consistency coefficient and flow behavior index, using a rotational type viscometer and physicochemical parameters (methods proposed by AOAC): soluble solids, pH, water content, insoluble solids, acidity and pectin content (refractometric method) were determined in this study. Cluster analysis established two groups (1: Halford, Andross, Astengo, Bowen, Sim's Cling; 2: Fortuna, Loadel and Palora; Sullivan Cling variety could not be assigned to any group) with significant differences.

Keywords: Rheology, peach pulp, physicochemical properties, soluble solids, temperature, power law, pseudoplastic.

1. Introducción

El principal destino de la producción de frutas y hortalizas en Argentina es al mercado de consumo en fresco (Aguayo-Giménez *et al.*, 2010). Sin embargo, la disponibilidad de estos productos frescos está limitada a menudo por su corta vida,

el almacenamiento y a que la producción anual está concentrada en períodos relativamente cortos. Es por ello que una gran parte de las frutas y hortalizas se destinan a la elaboración de productos en conserva y de jugos o zumos concentrados (también llamados pulpas concentradas, en el caso de frutas con alto contenido de

* Autor para correspondencia

Email: emunoz@fcai.uncu.edu.ar (Dr. E. Muñoz Puentes)

sólidos en suspensión, como en el caso del durazno), para su posterior uso en alimentos líquidos y semilíquidos. Los jugos o pulpas concentradas presentan una serie de ventajas respecto a la misma fruta de la que se obtuvieron, pese a que pueden sufrir ligeros cambios en sus propiedades organolépticas, los que se reducen a un mínimo, gracias a los modernos equipos de concentración y de recuperación de aromas. Los periodos de conservación son mucho más prolongados debido a la disminución de sus contenidos de humedad – previniendo el deterioro microbiano (Downes, 1994) – y a la esterilización industrial a la que se los somete durante su elaboración, proceso que en los últimos años, ha sido reemplazado por sistemas de esterilizado y envasado aséptico. El almacenamiento aséptico a granel involucra un calentamiento, mantenimiento a esa temperatura, enfriamiento del jugo o puré y finalmente el llenado en contenedores estériles bajo condiciones estériles. Los contenedores podrían ser envases individuales cubiertos de cartón, botellas plásticas, bolsas de 5 – 300 gal (22.7 – 1363.83 L), o tanques metálicos; y se esterilizan con peróxido de hidrógeno calentado, por exposición a radiación ionizante, con yodóforos u otros químicos, o con nitrógeno estéril (Clark, 2009). Por otro lado, los jugos concentrados presentan un volumen muy inferior respecto a las frutas frescas de las que se obtuvieron, lo que permite realizar transportes, embalajes y almacenamientos muchos más económicos, ordenados y programados (Ramteke, 1993).

El durazno es una de las frutas más importantes tanto para su consumo en fresco como por la variedad de productos que permite obtener su industrialización. Dentro de estos últimos se destacan las conservas de duraznos ya sea en mitades, rodajas o cubeteado. Cuando la fruta no reúne las características requeridas para elaborar conservas, se destina a la producción de pulpa. Ésta resulta un importante insumo para la producción de

mermeladas, jaleas, y otros productos. La provincia de Mendoza (Argentina) concentra casi la totalidad de la superficie implantada con durazno para industria. De acuerdo al pronóstico de cosecha elaborado por el IDR (Instituto de Desarrollo Rural), la producción de durazno industria en la campaña 2010/11 alcanzaría las 160 mil toneladas. La industrialización de duraznos está condicionada por la estacionalidad de la materia prima, se extiende desde diciembre hasta marzo. En el mercado de pulpas concentradas – el segundo destino más importante del durazno industria – operan 9 empresas en Argentina, presentando una capacidad instalada anual estimada en 120 mil toneladas. La producción de pulpas se destina en gran medida al mercado externo (21.5 mil toneladas), siendo los principales destinos, Brasil (32%), seguido por Chile (11%), Libia (11%) y Rusia (10%) (Franco, 2011).

El comportamiento reológico de zumos vegetales está influenciado por su composición, y en consecuencia, dependerá tanto de la naturaleza de la fruta con que se elaboran, como de los tratamientos que se hayan realizado en sus procesos de elaboración. Lo expuesto, pone de manifiesto la importancia de conocer la evolución de las propiedades de flujo de estos alimentos líquidos o semilíquidos durante los procesos de concentración y bombeo en instalaciones industriales, además de otras operaciones, como el tamizado, desairado, mezclado y tratamientos térmicos diversos, entre otros (Smith, 2011). La viscosidad aparente, el comportamiento reológico de jugos líquidos y semilíquidos y la influencia de la temperatura sobre éstos, son parámetros que normalmente son utilizados, por un lado, para evaluar las características de calidad de estos productos y por otro lado son indispensables para el diseño, cálculo y operación de los equipos de procesado de alimentos líquidos y semilíquidos, permitiendo obtener resultados satisfactorios con altos rendimientos

operativos y mínimos costos. Por esta razón su conocimiento es de fundamental importancia (Rao y Anantheswaram, 1982).

Junto a las propiedades reológicas, se hacen habitualmente determinaciones fisicoquímicas, para poder entender y hasta predecir las complejas interacciones químicas que ocurren en el flujo de estos jugos y pulpas líquidas y semilíquidas que conducen al comportamiento característico de estos alimentos. Desde el punto de vista reológico los zumos concentrados, clarificados y despectinizados presentan un comportamiento newtoniano. Sin embargo los derivados de frutas pertenecientes a los otros grupos no cumplen con la ley de Newton de la viscosidad, por lo que se dice que se comportan como fluido no newtonianos. El comportamiento de estos últimos, puede describirse mediante la ley de la potencia (Saravacos, 1970; Holdsworth, 1971; Rao *et al.*, 2005), o mediante el modelo de Herschel-Bulkley, en el caso que presenten una tensión de fluencia diferente de cero (Crandall *et al.*, 1982; Steffe, 1996).

El modelo de la ley de la potencia ha sido usado con éxito por diversos autores para describir el comportamiento al flujo de diversos cremogenados o purés de frutas, como puré de manzana (Rao *et al.*, 2005), en puré de mango (Gunjal y Waghmare, 1987), en puré de ciruela y durazno (Ibarz y Lozano, 1992), en reología del cremogenado industrial del melocotón y sus concentrados (Garza *et al.*, 2001). Varios factores afectan el comportamiento reológico de los purés y concentrados de fruta: temperatura, sólidos solubles totales/concentración, tamaño de partículas (Ahmed *et al.*, 2004; Manayay e Ibarz, 2010).

Por otro lado, el análisis de Cluster es una técnica de análisis multivariado que busca organizar la información acerca de variables para que puedan formarse grupos relativamente homogéneos o "clusters" (Marino *et al.*, 2012).

El principal objetivo del presente trabajo es determinar las propiedades reológicas y fisicoquímicas de pulpas de durazno de la provincia de Mendoza (Argentina). Su conocimiento pretende ser de utilidad, para el diseño de equipos de concentración de jugos y pulpas vegetales, como también para el cálculo de potencias de bombeo en el transporte de éstos y otros productos alimenticios de características reológicas y fisicoquímicas similares, así como observar la influencia de las distintas variedades, estableciendo si existen o no diferencias significativas entre ellas.

2. Materiales y métodos

Materia prima

Las pulpas de durazno concentradas y sin concentrar fueron suministradas por ARCOR S.A., una importante empresa de la zona, dedicada a la elaboración de pulpas. Estos productos no fueron clarificados ni filtrados, por lo que los mismos presentaban pulpa y pectinas en suspensión. Las pulpas concentradas se obtuvieron a través del siguiente proceso:

- a) Lavado e inspección de los frutos: la materia prima es recepcionada en bins de 400 kg, los duraznos son lavados en dos etapas: primero por aspersion mediante chorros de agua a 3 kg/cm^2 en una lavadora rotativa y segundo un lavado por inmersión; posteriormente los duraznos son seleccionados de aquellos frutos que presentan adecuada textura, tamaño y aspecto.
- b) Molienda: por medio de un molino triturador continuo de martillos fijos con inyección de vapor en la cámara de triturado (atmósfera libre de oxígeno e inactivación de enzimas), donde se regulan las revoluciones del equipo y la salida del producto para lograr la granulometría deseada.
- c) Cocinado: se realiza en un equipo estático discontinuo, formado por dos cilindros concéntricos cerrados en sus extremos; entre ambos cilindros se forma un anulo donde circula vapor. La fruta alcanza una temperatura de

- 80°C, la que es mantenida durante 20 minutos.
- d) Tamizado: se realiza en tres etapas; sirve para retirar las partes sólidas de la fruta no deseables en el producto final. Primera etapa: “despulpado de la fruta”, donde se separa por intermedio de un tamiz tronco cónico de malla gruesa con orificios de 5 mm de diámetro o serie de tamices de igual tipo o del tipo ranurados, los carozos, piel e impurezas que pudieran acompañar a la pulpa. Segunda etapa: tamiz tronco cónico con orificios de 1.5 mm para finalizar la extracción de los gruesos indeseables. Tercera etapa: el zumo se somete a un “refinado”, de la cual se obtiene un producto homogéneo y cremogenado de muy buena consistencia y suave textura, apto para seguir con la etapa de concentración; se realiza en un tamiz tronco cónico con orificios de 0.4 mm.
- e) Concentrado: se realiza en concentradores de simple efecto de película agitada descendente que trabajan bajo vacío.
- f) Esterilizado: el cremogenado pasa al esterilizador, el que consiste en varios bloques de un triple tubo (todos ellos de igual longitud, concéntricos y cerrados en sus extremos) por cuyo ánulo interno circula el producto a esterilizar y por el tubo central y ánulo externo circula agua ablandada a 105°C. Variando la cantidad de producto que ingresa al equipo, por regulación del caudal a la salida de la bomba, se controla el tiempo de residencia dentro del esterilizador, el que oscila entre 3 a 5 minutos, tiempo que incluye el de manutención de temperatura (holding).
- g) Enfriado: en un doble tubo de película rascada. Por el ánulo formado entre ambos tubos circula agua ablandada a una temperatura de, aproximadamente 8°C. El producto se desplaza por el tubo central, movilizado en parte por el concentrado que ingresa al equipo y en parte por la acción de un “rascador”. Así el producto concentrado esterilizado se enfría por debajo de los 35°C.
- h) Envasado aséptico: enfriado el producto, es envasado en bolsas asépticas de doble capa de polietileno y cobertura exterior con film de aluminio de alta barrera de oxígeno, con capacidad de 250 kg (para este estudio las pulpas fueron envasadas en bolsas asépticas de 5 kg). Se usan como contenedores, tambores de chapa revestidos interiormente con pintura epoxi. Para lograr el llenado aséptico de las bolsas, el equipo cuenta con un cabezal especialmente diseñado, en el que se realizan las etapas de esterilizado de la propia cámara de llenado, esterilizado de tapa y cuello de llenado de la bolsa contenedora del producto y el cierre hermético del conjunto para evitar la entrada de aire. La esterilización se realiza mediante vapor de alta presión rondando los 150°C.
- Las variedades analizadas fueron: Fortuna, Loadel, Palora, Andross, Bowen, Halford, Sim’s Cling, Astengo y Sullivan Cling, representando el 90% de las variedades de duraznos destinadas para elaboración de pulpas. Todas ellas provenían de distintas zonas productoras de la provincia de Mendoza, las fechas de elaboración correspondieron a los años 2001 y 2002. Con el objeto de que las muestras sean representativas, las mismas fueron preparadas realizando mezclas homogéneas de pequeñas porciones extraídas de 3 bolsas asépticas de la variedad a estudiar. Todos los análisis se efectuaron por triplicado y se utilizaron los promedios para los estudios posteriores. Las determinaciones reológicas de cada una de las variedades de durazno, se efectuaron a distintas concentraciones, para lo cual se procedió a realizar diluciones con agua destilada. De esta manera se hicieron para cada una de las

variedades, cinco diluciones con concentraciones finales de 12.5°Brix; 16°Brix; 20°Brix; 24°Brix y 28°Brix. Las temperaturas utilizadas en cada determinación fueron 30, 40 y 50°C.

Viscosidad aparente

Se utilizaron dos viscosímetros Brookfield del tipo rotacional (Brookfield Engineering Laboratories Inc, Middleboro, MA), modelos LVDV – III y HBDV – III, dirigido por el software Rheocalc V1.01. Se utilizaron los spindles SC4-21, SC4-25 y SC4-34, denominados cilindros coaxiales, pertenecientes a las series del Small Sample Adapter (Adaptador para pequeñas muestras). Los mismos están especialmente diseñados para trabajar con muestras pequeñas. La cámara portamuestra utilizada fue la SC4-13R, que se coloca en el interior de una camisa de agua, que mediante un baño de agua controla la temperatura deseada. La cámara permite que se le acople una RTD que da la posibilidad de registrar la temperatura de la muestra.

Cada una de las mediciones empezó a 0.1 rpm, correspondientes a velocidades de deformación de: 0.02 s⁻¹ (SC4-25), 0.03 s⁻¹ (SC4-34) y 0.09 s⁻¹ (SC4-21). Esta velocidad se incrementó cada 3 segundos, siempre de igual forma (4.5 rpm), hasta llegar a 247.6 rpm, obteniendo a esta velocidad de giro un gradiente de velocidad de 54.47 s⁻¹ (SC4-25); 69.33 s⁻¹ (SC4-34) y 230.27 s⁻¹ (SC4-21). Para determinar si las muestras presentaban tixotropía, se continuó la medición realizando un descenso de la velocidad de deformación (4.5 rpm cada 3 segundos), hasta llegar a la velocidad de partida (0.1 r.p.m.). En cada uno de estos cambios de velocidad de giro, el programa realizó la recolección y almacenamiento de los conjuntos de datos reológicos. Las mediciones fueron llevadas a cabo por triplicado.

Para analizar las distintas muestras se utilizó la ley de la potencia (Ecuación de Ostwald de Waele, Ec. 1), por ser fluidos

pseudoplásticos (Steffe, 1996), ya que sufren una disminución de la viscosidad aparente cuando se los somete a altas velocidades de deformación y por el contrario, aumenta cuando la velocidad de deformación es baja.

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

donde σ es la tensión de corte o de cizalla (Pa), K es el índice de consistencia al flujo (Pa.sⁿ), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación o gradiente de velocidad (s⁻¹) y n es el índice de comportamiento al flujo (adimensional).

Propiedades fisicoquímicas

Las siguientes determinaciones fueron realizadas siguiendo las normas AOAC (1996): pH (método potenciométrico; 981.12), sólidos solubles (método refractométrico; 932.12), acidez total y ácido cítrico (titulometría; 942.15), sólidos totales (método gravimétrico; 920.151), sólidos insolubles (método gravimétrico; 922.10) y contenido de humedad (estufa bajo vacío, método gravimétrico; 934.06).

Para la determinación del contenido de pectina se utilizó el método fotométrico (Matissek *et al.*, 1998), el cual se basa en que las pectinas se aíslan del alimento por precipitación con metanol, extrayéndose el residuo restante con hidróxido sódico diluido. Tras la adición de carbazol y de ácido sulfúrico al extracto, se forma, tras varias etapas sucesivas, ácido 5-formilpiromúxico, 2,5-diformilfurano, un producto de condensación rojo-anaranjado que se mide fotométricamente a 525 nm (el máximo de absorción a 525 nm se mantiene estable durante dos horas).

$$P \left(\frac{\text{mg GA}}{\text{kg de alimento}} \right) = \frac{G \cdot 100}{4} \quad (2)$$

donde P es la cantidad de ácido galacturónico contenido en el alimento, GA son los μg de ácido galacturónico monohidratado por mL de filtrado (tomado a partir de la curva estándar), 100 es un factor de conversión y 4 la masa de muestra analizada en gramos.

Análisis de Clusters

Se utilizaron los valores estandarizados (distancias, con signo, respecto a la media, medido en desviaciones típicas) de pH, sólidos totales, contenido de humedad, acidez, contenido de pectina y 3 valores de viscosidad aparente – a 81.1 rpm (baja), a 166.6 rpm (media) y a 243.1 rpm (alta) – para formar los clusters empleando el software STATGRAPHICS Plus.

3. Resultados y discusión

Se obtuvieron los flujogramas para cada variedad de pulpa de durazno a 12.5; 16; 20; 24 y 28°Brix, y temperaturas 30, 40 y 50°C. En la Figura 1 se muestra un flujograma típico, donde se observa un comportamiento pseudoplástico. Los purés de frutas están formados por suero y partículas de varias formas y tamaños dispersas en éste, entonces la pulpa junto con la pectina serían los componentes que contribuirían al comportamiento no-newtoniano (Nindo *et al.*, 2007).

Además, se ha reportado que los purés de fruta se comportan como no-newtonianos como resultado de una compleja interacción entre los azúcares solubles, las sustancias pécticas y los sólidos suspendidos (Ahmed *et al.*, 2004).

La Tabla 1 muestra los parámetros de la Ley de la Potencia para cada pulpa estudiada. Los coeficientes de determinación fueron superiores a 0.99, lo que demuestra que este modelo ajusta apropiadamente los datos experimentales, al igual que lo mostrado por Garza e Ibarz (1998). Los valores de K (Pa.sⁿ) para 30°C y 40°C son algo menores que los encontrados en la literatura (Maceiras *et al.*, 2007): 13.3830 y 11.5030, respectivamente. En cambio, los valores de n (adimensional), son comparables: 0.2602 y 0.2688, para 30 y 40°C, respectivamente. Todos los valores de índice de comportamiento al flujo son muy inferiores a uno, lo que indica claramente el comportamiento pseudoplástico de las pulpas analizadas.

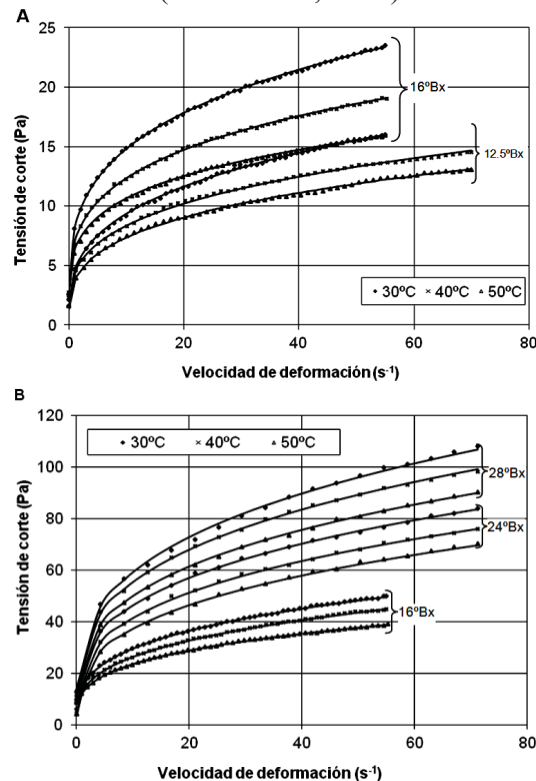


Figura 1. Flujogramas típicos obtenidos para las pulpas de durazno Sim’s Cling: (A) 12.5 y 16°Brix, (B) 20, 24 y 28°Brix.

Tabla 1

Valores de los parámetros de la Ley de la Potencia para distintas variedades de pulpas de durazno.

Variedad	C (°Brix)	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
Andross	12.5	30	4.5279	0.3325	0.9916
		40	3.4498	0.3654	0.9891
		50	3.3412	0.3465	0.9973
		30	8.8716	0.2811	0.9981
		40	8.0427	0.2977	0.9911
		50	7.7929	0.2723	0.996
	20	30	16.5806	0.2576	0.9962
		40	13.0798	0.2783	0.9975
		50	12.2687	0.2775	0.9973
		30	23.8013	0.3258	0.9958
		40	23.3238	0.3090	0.9968
		50	22.3718	0.3022	0.9989
24	30	32.0332	0.3530	0.9972	
	40	28.1061	0.3482	0.9971	
	50	26.6379	0.3559	0.9969	
Fortuna	12.5	30	8.0910	0.2778	0.9966
		40	7.1730	0.2850	0.9949
		50	6.6298	0.2765	0.9963
	16	30	14.6791	0.2633	0.9978
		40	13.0437	0.2707	0.9967
		50	11.8222	0.2629	0.9955
20	30	27.7332	0.2603	0.9896	

		40	25.2232	0.2425	0.9944
		50	20.2069	0.2478	0.998
		30	28.2423	0.3494	0.9972
	24	40	26.7547	0.3399	0.9904
		50	24.8085	0.3288	0.9961
		30	40.8319	0.3643	0.9983
	28	40	35.9335	0.3639	0.9988
		50	30.5141	0.3492	0.9959
		30	10.3562	0.2551	0.9982
	12.5	40	8.8044	0.2802	0.9964
		50	7.5666	0.2872	0.9928
		30	14.8765	0.2639	0.9974
	16	40	14.2659	0.2552	0.9961
		50	10.8069	0.2798	0.9986
		30	26.3027	0.2337	0.9986
	20	40	23.1047	0.2447	0.9964
		50	19.1779	0.2558	0.997
		30	32.7793	0.3166	0.9952
	24	40	25.5094	0.3467	0.9898
		50	23.4693	0.3368	0.996
		30	38.2825	0.3757	0.9979
	28	40	37.1279	0.3550	0.9985
		50	29.8470	0.3723	0.9985
		30	5.3839	0.2784	0.9935
	12.5	40	5.0223	0.2810	0.9915
		50	3.2636	0.3369	0.9942
		30	10.1088	0.2546	0.9969
	16	40	9.1517	0.2600	0.9961
		50	7.8307	0.2679	0.9945
		30	19.5299	0.2334	0.9958
	20	40	17.5550	0.2412	0.999
		50	15.1670	0.2548	0.9965
		30	22.6152	0.3492	0.9984
	24	40	20.3564	0.3194	0.999
		50	18.2180	0.3180	0.998
		30	30.3040	0.3716	0.999
	28	40	28.7210	0.3568	0.998
		50	25.5976	0.3501	0.9985
		30	4.5394	0.3142	0.9961
	12.5	40	4.2746	0.2906	0.9981
		50	3.7202	0.2967	0.9984
		30	8.0039	0.2667	0.9993
	16	40	6.8819	0.2557	0.9988
		50	6.2101	0.2340	0.9963
		30	14.7503	0.3032	0.9989
	20	40	12.8381	0.3127	0.9995
		50	12.0976	0.2910	0.9992
		30	23.0940	0.3019	0.9996
	24	40	20.2908	0.3100	0.9994
		50	17.7869	0.3203	0.9995
		30	29.5121	0.3019	0.9985
	28	40	27.8163	0.2985	0.9993
		50	24.9345	0.3005	0.9997
		30	7.9488	0.2716	0.9952
	12.5	40	6.4908	0.2822	0.9945
		50	5.2687	0.2978	0.995
		30	13.6490	0.2629	0.9975
	16	40	10.5803	0.2979	0.9977
		50	10.1648	0.2813	0.9979
		30	19.3241	0.2603	0.9971
	20	40	17.0608	0.2700	0.9981
		50	15.8855	0.2707	0.9986
		30	28.1320	0.2604	0.9932
	24	40	26.2060	0.2464	0.9908
		50	23.7848	0.2504	0.9957
		30	35.1722	0.3049	0.9905
	28	40	33.0675	0.2901	0.9927
		50	32.6814	0.2572	0.9966
Bowen	12.5	30	4.9797	0.2690	0.9969

		40	3.6771	0.3247	0.9922
		50	3.3698	0.3202	0.9861
		30	8.6179	0.2818	0.9969
	16	40	6.9231	0.3201	0.9992
		50	6.1532	0.3210	0.9929
		30	16.7610	0.2722	0.9915
	20	40	13.2770	0.2858	0.9992
		50	12.2659	0.2617	0.9956
		30	19.6381	0.3282	0.9947
	24	40	19.1734	0.3088	0.9934
		50	16.2592	0.3214	0.9956
		30	33.0750	0.2567	0.9964
	28	40	26.5461	0.2902	0.9967
		50	23.3884	0.3081	0.9973
		30	5.5284	0.2941	0.9931
	12.5	40	5.5284	0.2748	0.9958
		50	5.0921	0.2767	0.9949
		30	10.5317	0.2657	0.9965
	16	40	9.6051	0.2698	0.9976
		50	8.4470	0.2837	0.9944
		30	19.1161	0.2509	0.9891
	20	40	17.3221	0.2636	0.9949
		50	15.2511	0.2755	0.9953
		30	21.7979	0.3104	0.997
	24	40	19.8335	0.3084	0.9903
		50	18.4714	0.2983	0.9937
		30	28.7276	0.3866	0.9985
	28	40	27.1082	0.3731	0.9969
		50	26.2120	0.3047	0.998
		30	5.6598	0.2640	0.9957
	12.5	40	4.7665	0.2642	0.9983
		50	4.5551	0.2357	0.994
		30	8.256	0.2845	0.9957
	16	40	8.1715	0.2664	0.9953
		50	7.3587	0.2637	0.9942
		30	12.9539	0.3076	0.9977
	20	40	11.9647	0.3007	0.9985
		50	10.6733	0.3006	0.9967
		30	17.4985	0.3116	0.996
	24	40	15.6423	0.3135	0.9911
		50	14.2889	0.3138	0.9929
		30	33.5583	0.2567	0.9964
	28	40	26.9898	0.2898	0.9967
		50	23.7301	0.3081	0.9973

Se ajustaron los coeficientes de consistencia con una regresión múltiple en función de la concentración de sólidos solubles y la temperatura (Tabla 2). El coeficiente de consistencia se incrementa a medida que se incrementa la concentración de sólidos solubles y disminuye al aumentar la temperatura, hecho observado por varios autores (Saravacos, 1968; Ibarz *et al.*, 1992; Garza e Ibarz, 1998). Similar a los resultados de Garza e Ibarz (1998), el coeficiente de consistencia aumenta fuertemente cuando la concentración de sólidos solubles cambia de 24 a 28°Bx, lo que podría explicarse con la teoría del aglomerado (Charm, 1963; Rha, 1975).

Los parámetros reológicos de los cremogenados – soles groseros o suspensiones – aumentan abruptamente a partir de una concentración crítica, en donde la fase sólida forma agregados o redes que atrapan la fase dispersante. Por otro lado, no se pudo establecer una relación válida para los índices de comportamiento al flujo.

Tabla 2

Ecuaciones de Regresión Múltiple para el coeficiente de consistencia (K) en las pulpas de durazno.

Variedad	Ecuación de Regresión Múltiple	R ²
Andross	$K = -12.7129 + 1.6758 * C - 0.1339 * T$	0.982
Bowen	$K = -7.2696 + 1.5025 * C - 0.2164 * T$	0.958
Fortuna	$K = -4.5431 + 1.8021 * C - 0.2559 * T$	0.956
Halford	$K = -7.1794 + 1.5047 * C - 0.1786 * T$	0.982
Loadel	$K = -0.0117 + 1.7008 * C - 0.3172 * T$	0.971
Palora	$K = -9.8738 + 1.7650 * C - 0.1644 * T$	0.991
Sim's Cling	$K = -10.4305 + 1.5391 * C - 0.1514 * T$	0.980
Sullivan Cling	$K = -7.2602 + 1.3961 * C - 0.1224 * T$	0.981

Los fluidos dependientes del tiempo exhiben un cambio en su viscosidad en el tiempo atribuido a la cizalla, aunque la

velocidad de cizalla y la temperatura sean constantes. Por ello presentan un bucle de histéresis entre las curvas ascendente y descendente. Las muestras de durazno exhibieron este comportamiento debido a su contenido de pectina. A modo de ejemplo, la Figura 2 muestra un flujograma de pulpa de durazno con bucle de histéresis. Es sabido que la pectina forma una estructura tridimensional que sufre cambios importantes cuando se la somete a cizalla, como es la rotura de la estructura por las fuerzas hidrodinámicas generadas y el incremento en la alineación de las moléculas constituyentes (Izidoro *et al.*, 2008). Se conoce que el comportamiento no-newtoniano de las pulpas de frutas concentradas resulta de las interacciones complejas entre los azúcares solubles, las sustancias pécticas coloidales y los sólidos en suspensión (Lozano e Ibarz, 1994).

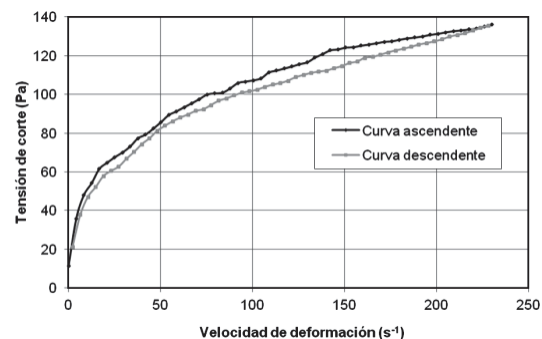


Figura 2. Flujograma de pulpa de durazno Andross a 24°Brix y 30°C.

Tabla 3

Propiedades fisicoquímicas para distintas variedades de duraznos.

Muestra	pH	Sólidos solubles (°Bx)	Sólidos Totales (g/100g)	Humedad (%)	Sólidos Insolubles (g/100g)	Acidez (meq/kg)	Ácido Cítrico (%)	Pectina (mg/kg)
Fortuna	3.85	29.30	30.75	69.25	1.45	216.00	1.38	2.38
Loadel	4.09	27.00	28.45	71.55	1.45	220.00	1.41	2.22
Palora	4.47	30.00	31.52	68.48	1.52	257.00	1.65	2.34
Andross	4.60	30.90	32.58	67.42	1.68	144.71	0.93	1.85
Halford	4.37	30.50	32.15	65.06	1.63	142.83	0.91	1.80
Astengo	4.18	32.80	34.52	65.48	1.72	170.06	1.09	2.19
Bowen	4.23	31.60	33.24	66.76	1.64	170.73	1.09	1.95
Sullivan Cling	3.86	31.50	33.19	66.81	1.69	233.02	1.49	1.84
Sim's Cling	4.36	32.30	33.98	66.02	1.68	110.14	0.71	1.98

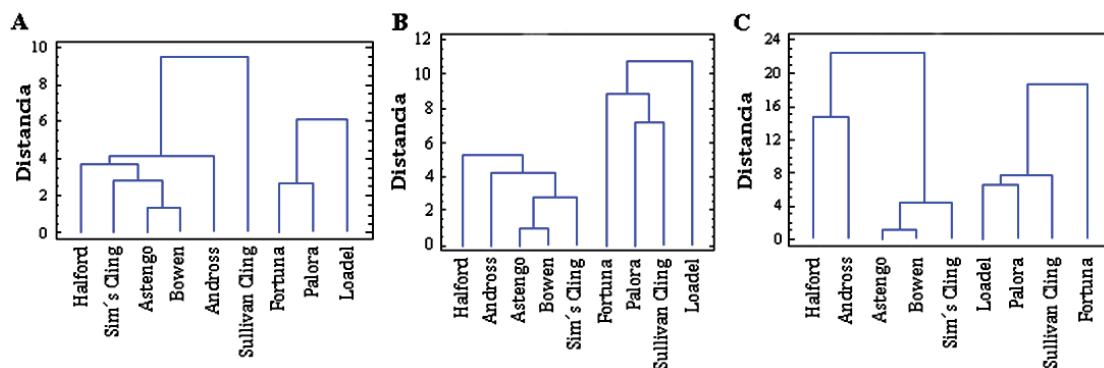


Figura 3. Dendrogramas de nueve variedades de durazno: A) 12.5°Brix y 30°C. B) 20°Brix y 40°C. C) 28°Brix y 50°C.

La Tabla 3 muestra los datos de algunas propiedades fisicoquímicas (valores promedio) para pulpas de durazno concentradas. El pH para pulpas de durazno observado por distintos autores (Massa *et al.*, 2010; Balestra *et al.*, 2011; Echavarría *et al.*, 2012) es similar al encontrado en las muestras analizadas; sin embargo es superior al observado por Maceiras *et al.* (2007): 3.31. También son comparables los valores de acidez total para pulpas sin concentrar (Garza e Ibarz, 1998; Massa *et al.*, 2010; Echavarría *et al.*, 2012) y para pulpas concentradas (Massa *et al.*, 2010; Balestra *et al.*, 2011); aunque son menores a los hallados por Toralles *et al.* (2006). Como la pectina ha sido cuantificada por diferentes metodologías, los resultados no son confrontables.

Se establecieron los clusters con los datos obtenidos para las variedades de durazno (Figura 3). Como puede verse, se establecieron 2 grupos de variedades de durazno, principalmente, por su consistencia, % de ácido cítrico y contenido de pectina. El grupo 1 contiene a cinco pulpas: Halford, Andross, Astengo, Bowen, Sim's Cling; el Grupo 2 está constituido por 3 pulpas: Fortuna, Loadel y Palora; la variedad Sullivan Cling no pudo ser asignada a ninguno de los 2 grupos.

4. Conclusiones

Las pulpas de durazno (*Prunus persica*) de las variedades Halford, Sim's Cling,

Astengo, Bowen, Andross, Sullivan Cling, Fortuna, Palora y Loadel presentaron un comportamiento pseudoplástico similar al indicado en la literatura. El modelo de la ley de la Potencia es adecuado para describir el comportamiento al flujo de las pulpas de durazno. Se determinaron los valores del Índice de Consistencia (K) y de Comportamiento al Flujo (n) para las distintas variedades, concentraciones y temperaturas estudiadas, con coeficientes de determinación superiores a 0.99 en todos los casos. Estos resultados pueden ser usados para modelar la transferencia de calor durante la concentración de pulpas de durazno. Los diferentes clusters permitieron establecer dos grupos con diferencias significativas, en los que influyen principalmente el coeficiente de consistencia (K), el % de ácido cítrico y el contenido de pectina de las pulpas. Estas diferencias son relevantes para los industriales ya que deberán ajustar los parámetros de su equipamiento (por ejemplo, tiempos de retención en esterilizador) dependiendo de las variedades de durazno que empleen.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la FCAI – UNCuyo (San Rafael, Mendoza, Argentina). Proyecto: Propiedades de flujo de pulpas de durazno de la región de Mendoza.

Referencias bibliográficas

Agayo-Giménez, E.; Artés-Calero, F.; Artés-Hernández, F. *et al.* 2010. Detección de problemas asociados a la calidad: frutas y hortalizas. Editorial UPM-CYTED. Madrid, España.

- Ahmed, J.; Shivare, U.S.; Singh, P. 2004. Colour kinetics and rheology of coriander leaf puree and storage characteristics of the paste. *Food Chemistry* 84: 605-611.
- AOAC. 1996. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. U.S.A.
- Balestra, F.; Cacci, E.; Marsilio, G.; Dalla Rosa, M. 2011. Physicochemical and rheological changes of fruit purees during storage. *Procedia Food Science* 1: 576-582.
- Charm, S.E. 1963. The direct determination of shear stress-shear rate behaviour of foods in the presence of a yield stress. *Journal of Food Science* 28: 107-113.
- Clark, J.P. 2009. Case Studies in Food Engineering: Learning from Experience. Editorial Springer-Verlag. New York. Estados Unidos.
- Crandall, P.G.; Chen, C.S.; Carter, R.D. 1982. Models for predicting viscosity of orange juice concentrate. *Food Technology* 36 (5): 245-252.
- Downes, J.W. 1994. Equipment for extraction and processing of soft and pome fruit juices. En: *Production and Packaging of Non-carbonated Fruit Juices and Fruit Beverages*. Second Edition. Editorial Aspen Publishers Inc. Philadelphia. Estados Unidos. 197-220.
- Echavarría, A.; Falguera, V.; Torras, C.; Berdún, C.; Pagán, J.; Ibarz, A. 2012. Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale. *LWT – Food Science and Technology* 46: 189-195.
- Franco, D. 2011. Pulpa de durazno. Alimentos Argentinos. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/conservas/productos/ConservaDurazno/PulpaDurazno_2011_10Oct.pdf
- Garza, S.; Ibarz, A.; Pagán, J.; Carabasa, M. 2001. Reología del cremogenado industrial de melocotón y sus concentrados. Comunicación personal.
- Garza, S.; Ibarz, A. 1998. Comportamiento reológico de cremogenado de melocotón. *Brazilian Journal of Food Technology* 1 (1/2): 12-24.
- Gunjál, B.B.; Waghmare, N.J. 1987. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of “Baneshan” and “Neelum” mangoes. *Journal of Food Science Technology* 24: 20-23.
- Holdsworth, S.D. 1971. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *Journal of Texture Studies* 2: 393-418.
- Ibarz, A.; González, C.; Esplugas, S.; Vicente, M. 1992. Rheology of clarified fruit juices. I: Peach juices. *Journal of Food Engineering* 15: 49-61.
- Ibarz, A.; Lozano, J.E. 1992. Caracterización reológica de pulpas concentradas de ciruela y melocotón. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 32: 85-94.
- Izidoro, D.R.; Scheer, A.P.; Sierakowski, M-R.; Haminiuk, W.I. 2008. Influence of green banana pulp on the rheological behavior and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). *LWT - Food Science and Technology* 41: 1018-1028.
- Lozano, J.E.; Ibarz, A. 1994. Thixotropic behaviour of concentrated fruit pulps. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 27: 16-18.
- Maceiras, R.; Álvarez, E.; Cancela, M.A. 2007. Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. *Journal of Food Engineering*. 80: 763-769.
- Manayay, D.; Ibarz, A. 2010. Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. *Scientia Agropecuaria* 1(2):155 - 168.
- Marino, M.; Palumbo, F.; Tortora, C. 2012. Clustering in Feature Space for Interesting Pattern Identification of Categorical Data. En: *Advanced statistical methods for the analysis of large data-sets*. Editorial Springer-Verlag. New York. Estados Unidos.
- Massa, A.; González, C.; Maestro, A.; Labanda, J.; Ibarz, A. 2010. Rheological characterization of peach purees. *Journal of Texture Studies* 41: 532-548.
- Matissek, R.; Schnepel, F.; Steiner, G. 1998. *Análisis de los Alimentos: fundamentos, métodos y aplicaciones*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España.
- Nindo, C.I.; Tang, J.; Powers, J.R.; Takhar, P.S. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT - Food Science and Technology* 40: 292-299.
- Ramteke, R.S. 1993. Methods for concentration of fruit juices: A critical evaluation. *Journal of Food Science and Technology* 30: 391-402.
- Rao, M.A.; Rizvi, S.H.; Datta, A.K. 2005. *Engineering properties of foods*. Third Edition. Editorial CRC Press Taylor & Francis. Boca Raton. Florida. EEUU.
- Rao, M.A.; Anantheswaram, R.C. 1982. Rheology of fluids. *Food Processing* 36: 116-126.
- Rha, C.K. 1975. Theory determination and control of physical properties of food materials. Editorial D. Reidel Pub. Co.. Boston. Estados Unidos.
- Saravacos, G.D. 1968. Tube viscometry of fruit juices and purees. *Journal of Food Science* 22: 1585-1588.
- Saravacos, G.D. 1970. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *J. Food Science* 35: 122-125.
- Smith, P.G. 2011. *Introduction to Food Process Engineering*. Second Edition. Editorial Springer-Verlag. New York. Estados Unidos.
- Steffe, J.F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*. Second Edition. Editorial Freeman Press. East Lansing. Michigan. Estados Unidos.
- Torralles, R.P.; Vendruscolo, J.L.; Tondo-Vendruscolo, C. 2006. Rheology of homogenized peach purée: effect of temperature and concentration. *Brazilian Journal of Food Technology* 9 (1): 1-8.