

Artículos Originales

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UNA BEBIDA ELABORADA CON *Chenopodium quinoa* Willd., *Glycine max* L. Y *Amaranthus caudatus* L. "QUINUA, SOYA Y KIWICHA" Y *Stevia rebaudiana* Bertoni "ESTEVIA"

Rheological characterization of a drink made with *Chenopodium quinoa* Willd., *Glycine max* L. and *Amaranthus caudatus* L. "quinoa, soja and kiwicha" and *Stevia rebaudiana* Bertoni "Stevia"

Javier S. Córdova¹ Úrsula Villafuerte¹, Luz M. Cerrón², Edgar Tapia¹, Ricardo Yuli¹, Luis Inostroza¹, Alfonso Rodríguez², Martín Condorhuanan³

¹Centro Latinoamericano de Enseñanza e Investigación en Bacteriología Alimentaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

²Facultad en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú. ³Instituto de Investigación en Ciencia Farmacéutica y Recursos Naturales "Juan de Dios Guevara", Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

RESUMEN

El propósito de la investigación fue determinar las características reológicas de una bebida nutricional elaborada a base de quinua, kiwicha y soya. Para ello se utilizó un viscosímetro rotacional Brookfield DV-E, versión 1.1, para determinar: índice reológico, índice de consistencia, perfil de la viscosidad aparente y el modelo matemático del comportamiento reológico de la bebida. La evaluación de cada parámetro se hizo con el preparado a 18 y 25°C. Presentó un índice de consistencia (K) de 3,7454 y 0,1747 Pa.sⁿ, respectivamente. El índice de comportamiento (n) fue de 0,3685 y 0,460, respectivamente. El modelo matemático obtenido por regresión fue $\tau = 3,7454 \gamma^{0,3685}$ y $\tau = 0,1747 \gamma^{0,4600}$, respectivamente. En ambas temperaturas no se evidenció diferencia en el perfil de viscosidad aparente propio de un fluido pseudoplástico. Los modelos matemáticos fueron ajustados con un coeficiente de determinación por encima del 98%. La bebida presentó características pseudoplásticas y el modelo de la Ley de potencia describió adecuadamente su comportamiento reológico a temperaturas diferentes.

Palabras clave: Quinoa, soya, kiwicha, stevia, reología.

SUMMARY

The purpose of research was to determine the rheological characteristics of a nutritional drink made to quinoa, amaranth and soy base. For that a Brookfield rotational viscometer DV-E, version 1.1, was used to determine: rheological index, consistency index, apparent viscosity profile and mathematical model of drink rheological behavior to 18 and 25°C. At both temperatures, the prepared presented a consistency index (K) of 3,7454 and 0,1747 Pa.sⁿ, respectively. The behavior index (n) was 0,3685 and 0,460, respectively. The mathematical model obtained by regression was $\tau = 3,7454 \gamma^{0,3685}$ and $\tau = 0,1747 \gamma^{0,4600}$, respectively. At 18 and 25°C not was marked difference in apparent viscosity profile own of a pseudoplastic fluid. Mathematical models were fitted with a determination coefficient above 98%. The drink presented pseudoplastic characteristics and the Power law model described adequately rheological behavior at different temperatures.

Keywords: Quinoa, soy, amaranth, stevia, rheology.

INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos continúa esforzándose para ofrecer productos nuevos e innovadores con el objetivo de satisfacer las necesidades del consumidor. La creciente demanda por productos saludables ha desafiado al sector de alimentos y bebidas en obtener nuevos alimentos. Algunos estudios ⁽¹⁾, han demostrado el error que se comete en los métodos de cálculo de los sistemas de transporte de alimentos líquidos al tratar como newtonianos, fluidos que no cumplen con la ley de la viscosidad de Newton

(no newtonianos) ⁽²⁾, de aquí la importancia del estudio reológico de la bebida a base de quinua.

Koziol ⁽³⁾, reporta que la quinua presenta 6,1 g de lisina por cada 100 gramos de proteína, lo cual es mayor en comparación con diversos cereales. La lisina es indispensable para el crecimiento normal y el desarrollo de los huesos en niños, ayuda a la absorción de calcio y mantiene un adecuado balance de nitrógeno en los adultos. Este aminoácido ayuda a producir anticuerpos, hormonas y enzimas; además, contribuye a la formación de colágeno y reparación de los tejidos, ayuda a construir

Tabla 1. Parámetros reológicos y estadístico obtenidos por el modelo de Ley de potencia, de la bebida nutricional a base de quinua.

Temperatura	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
T = 18°C	3,7454	0,3685	0,9873
T = 25°C	0,1747	0,460	0,9927

K (índice de consistencia del fluido), n (índice reológico del fluido) y R² (Coeficiente de determinación).

proteína muscular y a reducir los niveles de triglicéridos. Con el aminoácido triptófano nuestro cuerpo produce serotonina, un neurotransmisor responsable del sueño normal por lo que ayuda a estabilizar el estado de ánimo y combatir la depresión y el insomnio. También es útil para controlar la hiperactividad infantil, reducir el estrés y fortalecer el corazón. Sirve para controlar el peso porque reduce el apetito, e incrementa la liberación de la hormona de crecimiento ⁽⁴⁾. Ambos aminoácidos se encuentran en la soya, kiwicha y quinua, de ahí porqué la bebida fue elaborada a base de ésta última y endulzada con stevia.

Los viscosímetros rotacionales permiten medidas continuas del esfuerzo cortante para una velocidad de corte dada en periodos de tiempo prolongados, permitiendo determinaciones tanto si existe o no dependencia del tiempo. Estos atributos no son típicos de la mayoría de viscosímetros capilares. Por estas razones, los de rotación han llegado a ser el tipo de instrumentos más utilizados en las determinaciones reológicas de alimentos ⁽⁵⁾.

El objetivo de la investigación ha sido, determinar las características reológicas de la bebida nutricional a base de quinua endulzada con estevia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

A partir del pseudocereal quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ⁽⁴⁾ con kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y soya (*Glycine max* L.), se elaboró una bebida endulzada con *Stevia rebaudiana* Bertoni.

Determinación del índice reológico y de consistencia del fluido

Se utilizó un viscosímetro rotacional Brookfield DV-E, Versión: 1.1, y mediante el spindle 3 y 4, se determinaron los índices reológico y de consistencia de la bebida nutricional a las temperaturas de 18 y 25°C, respectivamente. Las determinaciones se realizaron en el rango de gradientes de velocidad de 0 a 60 s⁻¹ a la temperatura de 18°C y de 0 a 180 s⁻¹ a la temperatura de 25°C. Se calcularon los valores de esfuerzo cortante (τ) y gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) según Singh y Heldman ⁽⁶⁾, ajustándose a la Ley de potencia (ecuación 1) mediante un programa de computación;

Tabla 2. Modelos reológicos obtenidos de la bebida nutricional a base de quinua, basado en la Ley de potencia.

Temperatura	Modelo matemático obtenido por regresión	Modelo reológico	R ²
T = 18 °C	$\tau = 3,7454 \dot{\gamma}^{0,3685}$	$\tau = K\dot{\gamma}^n$	0,987
T = 25 °C	$\tau = 0,1747 \dot{\gamma}^{0,4600}$	$\tau = K\dot{\gamma}^n$	0,993

asimismo, se calcularon los parámetros: índice reológico de flujo (n); índice de consistencia (K); y el grado de ajuste del modelo a los datos reológicos (R²).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (1)$$

En que:

- τ : es el esfuerzo de corte (Pa),
- $\dot{\gamma}$: es la velocidad de deformación (1/s),
- K : es el índice de consistencia del fluido (Pa.sⁿ)
- n : es el índice reológico del fluido.

Determinación de la viscosidad aparente

La viscosidad aparente fue un parámetro utilizado en esta investigación para determinar el comportamiento reológico de la bebida nutricional a base de quinua, y así evaluar la influencia que tienen diferentes condiciones de temperatura, en este caso 18 y 25 °C, en las características de la bebida elaborada. La viscosidad aparente se obtuvo mediante el método de Sharma y Mulnaney ⁽⁵⁾, los valores obtenidos se ajustaron mediante un programa de computación.

$$\mu_a = \tau/\dot{\gamma} \dots\dots\dots (2)$$

En que:

- μ_a : viscosidad aparente (Pa.s)

RESULTADOS

Índice reológico y de consistencia del fluido

De las muestras tomadas de la bebida nutricional a base de quinua, se obtuvo un reograma a la temperatura de 18°C (figura 1). Cada dato fue producto de la lectura en un viscosímetro. De la misma forma se obtuvo un reograma a la temperatura de 25°C (figura 2).

Con respecto al comportamiento reológico de la bebida nutricional, este fue determinado mediante el programa profesional SPSS v. 20.0. Los parámetros reológicos fueron obtenidos a partir del desarrollo de la Ley de potencia (tabla 1); estos se ajustaron estadísticamente.

El modelo reológico de la bebida se indica en la tabla 2. Cada modelo fue producto del resultado a diferente temperatura.

En todos los casos, el ajuste de las curvas se realizó por un análisis de regresión de mínimos cuadrados, pudiendo obtenerse las expresiones matemáticas que

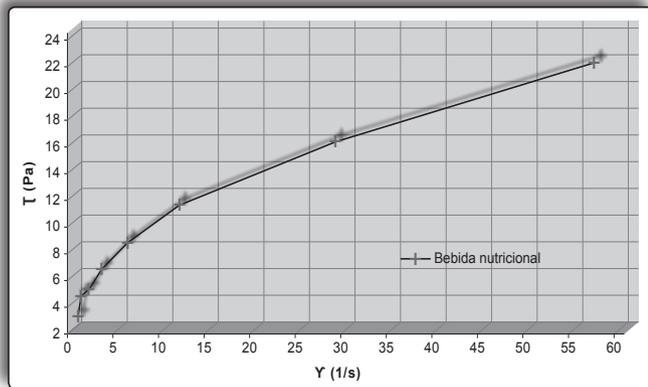


Figura 1. Reograma a la temperatura de 18°C.

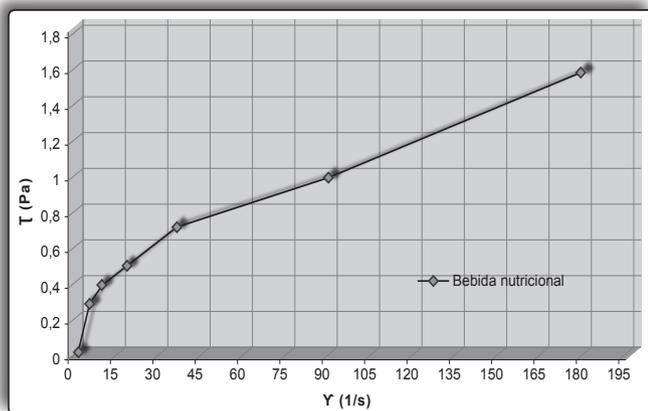


Figura 2. Reograma a la temperatura de 25°C.

describen cada uno de estos comportamientos con índices de regresión por encima del 98% (tablas 1 y 2).

Viscosidad aparente

La viscosidad de la bebida fue descendiendo producto del aumento de la velocidad de deformación, tal como se muestra en las figuras 3 y 4.

DISCUSIÓN

Las figuras 1 y 2, muestran las curvas de flujo respectivas, obtenidas de la caracterización reológica del nuevo producto. Las características de las curvas corresponden a las típicas de los fluidos pseudoplásticos. Se observa, adicionalmente, la existencia de un umbral de flujo en el origen. En ambas figuras, se visualiza también la misma formación de la curva, pero en proporciones diferentes, lo cual es característico de fluidos pseudoplásticos^(7,8).

En la tabla 2 se presentan los valores obtenidos del ajuste de la ley de potencia a los pares de valores de τ y $\dot{\gamma}$. Los valores obtenidos para el índice de flujo, menores que la unidad, confirman las características pseudoplásticas del fluido a diferentes temperaturas

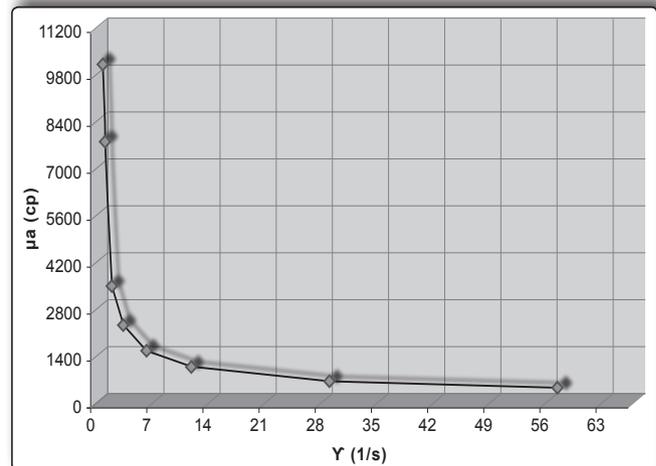


Figura 3. Viscosidad de la bebida nutricional a la temperatura de 18°C.

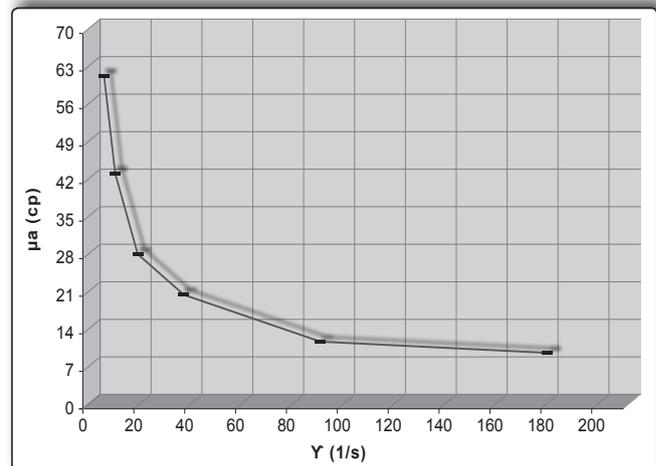


Figura 4. Viscosidad de la bebida nutricional a la temperatura de 25°C.

⁽⁹⁾. Dichas características, al igual que el índice de consistencia “K” y la viscosidad aparente, fueron menos acentuadas en la evaluación 18°C. Esto podría deberse al efecto de dilución de la bebida nutricional.

Las figuras 1 y 2 representan, de forma gráfica, la dependencia entre el gradiente de velocidad y el esfuerzo de corte para cada valor de temperatura de la bebida, tal como indican Guttierrez y Barretto⁽¹⁰⁾. Las curvas para la bebida nutricional, a diferentes temperaturas, se obtuvieron mediante el programa profesional SPSS v. 20. A partir de los reogramas obtenidos en las figuras 1 y 2, y los modelos de regresión de la tabla 2, se establecieron los parámetros reológicos descritos en la tabla 1 para cada temperatura.

En un fluido pseudoplástico, la curva del esfuerzo de corte versus la velocidad de corte comienza en el origen y es cóncava hacia arriba, por lo que un incremento en la velocidad de corte genera un menor incremento en el esfuerzo de corte. Según Rao⁽¹¹⁾,

este comportamiento se debe probablemente al rompimiento de las unidades estructurales del alimento debido a las fuerzas hidrodinámicas generadas durante el corte. En las figuras 1 y 2 se observan las curvas de esfuerzo de corte versus velocidad de corte obtenidas con la bebida nutricional elaborada con quinua, kiwicha y soya a 18 y 25°C; se evidencia el comportamiento típico de un fluido pseudoplástico.

En la bebida nutricional se ha encontrado que a diferentes temperaturas el comportamiento reológico del fluido sigue la Ley de potencia sin esfuerzo de fluencia en un amplio rango de velocidades de corte. Las bebidas alimenticias a temperaturas por encima de 17°C son generalmente fluidos pseudoplásticos⁽¹¹⁻¹⁴⁾.

En relación con los resultados de viscosidad aparente, las figuras 3 y 4 muestran que la bebida nutricional obtenida a base de quinua, kiwicha y soya tienen un comportamiento reológico propio de un fluido pseudoplástico, caracterizado por el decrecimiento de la viscosidad ante el incremento de la velocidad de corte^(11,12,14). En estas figuras se comparan el perfil de las viscosidades aparentes de la bebida nutricional a 18 y 25°C, siendo similar la caída de la viscosidad. Si se comparan los valores a 18°C con los reportados para la misma bebida a 25°C, se observa una marcada diferencia en la viscosidad, lo cual indica que el incremento de la temperatura afecta las propiedades reológicas de la bebida. Tarrega y Costell⁽¹⁵⁾ encontraron resultados similares en productos alimenticios.

CONCLUSIONES

La bebida nutricional elaborada a base de quinua, kiwicha y soya presentó características pseudoplásticas.

La bebida a temperaturas de 18 y 25°C no marcó diferencia en su comportamiento reológico el cual fue propio de un fluido pseudoplástico, lo mismo ocurrió con su viscosidad aparente. El modelo de la Ley de potencia describió adecuadamente el comportamiento reológico de la bebida nutricional a temperaturas diferentes.

La bebida presentó características de fluidos no newtonianos, donde el índice de consistencia (K) desciende al aumentar la temperatura, y el índice de comportamiento (n) asciende al aumentar la temperatura de la bebida nutricional obtenida a base de quinua, kiwicha y soya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Perona P. An experimental investigation of laminar-turbulent transition in complex fluids. *Journal of Food Engineering*. 2003; 60(2): 137-45.
- Dak M, Vermab RC, Jaaffrey SNA. Effect of temperature and concentration on rheological properties of "Kesar" mango juice. *Journal of Food Engineering*. 2007; 80(4): 1011-5.
- Koziol M. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Food Comp Anal*. 1992; 5(1): 35-68.
- Abugoch L, Romero N, Tapia C, Silva J, Rivera M. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *J. Agric Food Chem*. 2008; 56(12): 4745-50.
- Sharma A, Mulvaney S, Rizvi S. Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. México DF: Editorial Limusa; 2003.
- Singh P, Heldman D. Introduction to food engineering. 3th ed. London: Academic Press, 2001.
- Cunha TM, De Castro FP, Manrique PL, Benedet HD, Prudêncio ES. Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos. *Semina: Ciências Agrárias*. 2008; 29(1): 103-16.
- Maceiras R, Álvarez E, Cancela MA. Rheological properties of fruit purees: effect of cooking. *Journal of Food Engineering*. 2007; 80(30): 763-9.
- Mori RW, Scaramal G, Guilherme I, Bergamasco R, Curvelo N. Avaliação sensorial e reológica de uma bebida achocolatada elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e soro de queijo. *Acta Scientiarum. Technology*. 2010; 32(4): 435-8.
- Gutierrez R, Barretto AL. Características reológicas e sensoriais de bebidas lácteas funcionais. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. 2009; 30(3): 629-46.
- Rao MA. Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. 2a ed. Geneva NY: Springer; 2007.
- Rao MA, Tattiyakul J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate Polymers*. 1999; 38(2): 123-32.
- Chen CR, Ramaswamy HS. Rheology of tapioca starch. *Food Research International*. 1999; 32(5): 319-25.
- González ZM, Pérez E. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. *Acta Científica Venezolana*, 2003; 54: 127-37.
- Tarrega A, Costell E. Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semisolid dairy dessert. *Food Hydrocolloids*, 2006; 20(6): 914-22.

Manuscrito recibido el: 25/05/2015

Aceptado para su publicación el: 20/04/2016

Correspondencia

Nombre: Ing. Javier Saúl Córdova Ramos

Dirección: Jr. Puno 1002 – Lima 01 - Perú

e-mail: javier.cordova.ramos@hotmail.com