MODELADO DE PROPIEDADES REOLÓGICAS EN CHOCOLATE OSCURO DURANTE EL CONCHADO/REFINADO A NIVEL LABORATORIO

Walter A. Chisholm Sánchez[a], Judith E. Urías-Silvas[a]
[a]Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Departamento de Tecnología en Alimentos, Normalistas # 800, Colinas de la Normal, Guadalajara Jalisco, C.P. 44270. México.

Resumen
En la producción de chocolates estilo cobertura o golosina es vital el control de propiedades reológicas, que a su vez están en función de otras propiedades como tamaño de partícula y dimensión fractal. La medición del tamaño de partícula en chocolate se hace convencionalmente con equipos costosos como el Mastersizer 2000 y no ha sido correlacionada con parámetros reológicos como viscosidad. Se propone un método de menor costo para medir tamaño de partícula junto con dimensión fractal haciendo la correlación con viscosidad en un proceso de conchado/refinado a nivel laboratorio. En trabajos anteriores (1, 2) se han tratado de modelar otros parámetros como la fracción volumen con viscosidad, dejando de lado en tamaño de partícula; se han propuesto modelos mediante los cuales se quiere simular el comportamiento en chocolate (3), sin embargo, no hay trabajos que presenten un modelo adecuado para viscosidad en chocolate. En el presente trabajo se propone un modelo que relaciona tales parámetros y se comprueba mediante datos experimentales; además con la utilización de softwares especializados se logra la medición y análisis del tamaño de partícula junto con la dimensión fractal, que posiblemente pueden ser utilizadas como una forma no costosa de caracterizar a un chocolate.

Introducción

En el presente trabajo se propone una nueva forma de estudiar parámetros que afectan la calidad de chocolate. En la producción de chocolates estilo golosina o estilo cobertura es vital el control de propiedades reológicas, las cuales a su vez están en función de otras propiedades como tamaño de partícula y dimensión fractal. La medición del tamaño de partícula en chocolate se hace convencionalmente con equipos muy costosos como el Mastersizer 2000 de Malvern que mide el tamaño de partícula por difracción de láser; además no ha sido correlacionada precisamente con parámetros reológicos.

A nivel industrial el chocolate pasa por dos procesos antes de ser atemperado, el refinado y el conchado. En algunas empresas, sobre todo las que se dedican a fabricar chocolate en volúmenes grandes, este proceso se hace de manera simultánea con equipos de granito; en este tipo de proceso se lleva a cabo a diferentes tiempos, que varían según el equipo y las condiciones de proceso, realizándose desde 3,5 hasta 24 horas o más. No existe un tiempo estándar en relación a los equipos o procesos, pero si estándares de calidad para el chocolate; para que un chocolate posea una textura adecuada y fluya correctamente cuando está siendo transportado su viscosidad debe de ser menor a 4 Pa·s y mayor a 2 Pa·s; cuando la viscosidad está arriba de 4 Pa·s el chocolate tiene una textura pastosa en la boca. La viscosidad esta relacionada con el tamaño de partícula y la dimensión fractal. El tamaño de partícula óptimo para el chocolate no está establecido, pero se reporta que debe de ser igual o menor a 30 micras (8).

El análisis digital de imágenes obtenidas por microscopía ha sido una herramienta poderosa, no sólo en el área de alimentos, sino en muchas áreas como microbiología, topografía, geografía, entre otras. En áreas como la microbiología la medición de partículas microscópica se ha realizado durante muchos años mediante el microscopio, actualmente se cuenta con aditamentos digitales que facilitan considerablemente este proceso. En el chocolate es posible determinar el tamaño de partícula mediante distinto equipos y procedimientos; el más exacto y preciso es el control por láser que con la ayuda de un láser no sólo se mide el tamaño de las partículas sino también su distribución granulométrica. Este tipo

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ

de equipo láser tienden a ser más costosos, y si no se cuenta con él, se puede utilizar el microscopio para el análisis de tamaño de partícula; éste nos proporciona buena información en corto tiempo para tomar decisiones sobre el refinado.

La dimensión fractal es una propiedad que se encuentra en la mayoría de los materiales, en especial las grasas y el azúcar ya que forman cristales. El chocolate posee una dimensión fractal en segunda dimensión, siendo 2 el valor al que tiende el chocolate cuando las partículas van disminuyendo de tamaño y son más similares entre sí. También, cuando dos materiales tienen una dimensión fractal similar, la distribución en el tamaño de partícula también se considera similar. Cuando se hacen análisis por dimensión fractal se requieren tener datos en escala real, es decir, en tres dimensiones (3D); los datos obtenidos en dos dimensiones (2D) se pueden escalar a 3D mediante factores de corrección. Un método eficiente para medir dimensiones fractales de imágenes es el método de conteo por cajas; éste método consiste en cuadricular una imagen en cuadros de longitud l_b y contar el número de cuadros N_i ocupados por un pixel; la dimensión fractal es la pendiente negativa de la regresión lineal del número de ocupados de longitud l;

$$D_f = -\frac{\Delta \ln N_b}{\Delta \ln l_b}$$

El análisis de imágenes por dimensión fractal generalmente se hace de forma sencilla, ya que existen programas especializados que la calculan.

Quemada (1998) y Belton (2007) proponen modelos que relacionan el tamaño de partícula, la dimensión fractal y la viscosidad, en los modelos la viscosidad está en función a las demás propiedades.

$$\eta = \left[1 - \left(\frac{\phi}{\phi_m}\right) N^{(3-D_n)/D_n}\right]^{-2} \cdot \eta_{medio}$$

Por lo anterior, en el presente trabajo se propone un método de menor costo para medir tamaño de partícula junto con dimensión fractal haciendo la correlación con parámetros reológicos en un proceso simultáneo de conchado/refinado a nivel laboratorio. En trabajos anteriores (1, 2) se han tratado de modelar otros parámetros como la fracción volumen con parámetros reológicos como la viscosidad, pero se sigue dejando de lado el tamaño de partícula; se han propuesto modelos mediante los cuales se quiere simular el comportamiento en chocolate (3), sin embargo, aún no hay trabajos que presenten un modelo adecuado para relaciones dichos parámetros de forma exitosa. En el presente trabajo se propone un modelo que relaciona tales parámetros y se comprueba mediante datos experimentales; además con la utilización de softwares especializados se logra la medición y análisis del tamaño de partícula junto con la dimensión fractal, que posiblemente pueden ser utilizadas como una forma no costosa de caracterizar a un chocolate.

Sección Experimental

Elaboración de chocolate. Se formuló un chocolate oscuro con los contenidos mínimos marcados por norma (4) con 70% de sólidos de cacao y aproximadamente 30% de sacarosa. Se procesó en una conchadora/refinadora "ULTRA GRIND" de CocoaTown. Después de las 30 horas de proceso se almacenó el chocolate a 18 ± 2 °C para su posterior análisis bromatológico.

Análisis bromatológico. Se le determinó el contenido de carbohidratos, proteínas, grasa (extracto etéreo), fibra cruda, humedad y cenizas para obtener valores para los modelos matemáticos con los que se obtuvo la densidad (5).

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ

Análisis por microscopía. Durante el proceso de chocolate se obtuvieron muestras cada 6 horas (Figura 1a); del conjunto de muestras, una parte fue analizada con un microscopio "Leica DMR" (Figura 1b) para la obtención de imágenes (Figura 1c) que posteriormente fueron analizadas con un software especializado para este fin (Image-Pro Plus 6; Licencia: adquirida por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.) obteniendo el tamaño de partícula para cada uno de los tiempos.

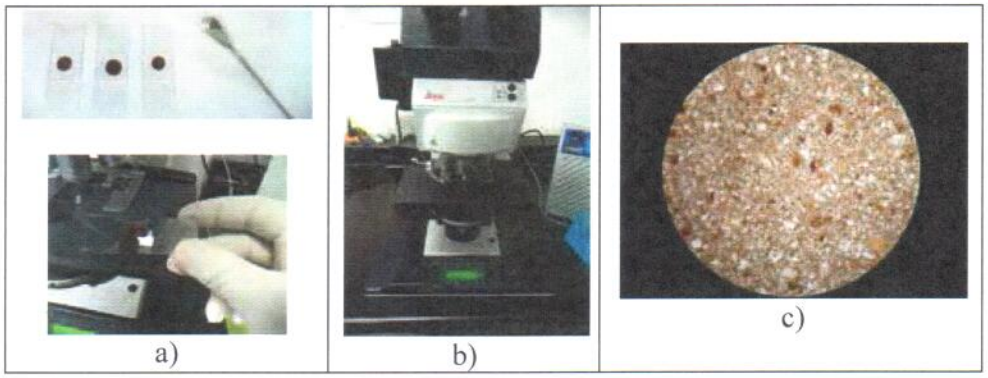

Figura 1: Proceso de obtención de imágenes digitales del chocolate

Procesamiento de imágenes. Las imágenes que se obtuvieron por microscopía también se analizaron para la obtención de la dimensión fractal de cada tiempo (Figura 2); cada una de las imágenes fue procesada por el método de conteo por cajas (6) con una aplicación adjunta especializa (Fraclab 2.05; toolbox gratuito para Matlab, http://fraclab.saclay.inria.fr/) del software analítico Matlab (Licencia: adquirida por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.) (Figura 3); después de obtener la dimensión fractal de cada tiempo en 2D se realizó una corrección para 3D agregando un factor de 0,7 ya que en los trabajos de Tang y Marangoni (6) se demuestra que al sumar 0.7 al valor de dimensión fractal obtenido en 2D se obtiene un valor más cercano al valor real en tercera dimensión.

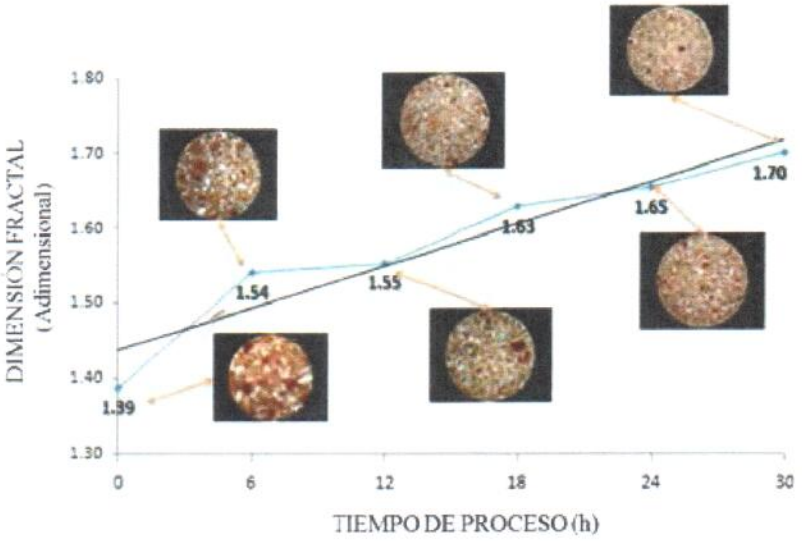

Figura 2. Dimensión fractal en cada tiempo de proceso

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ

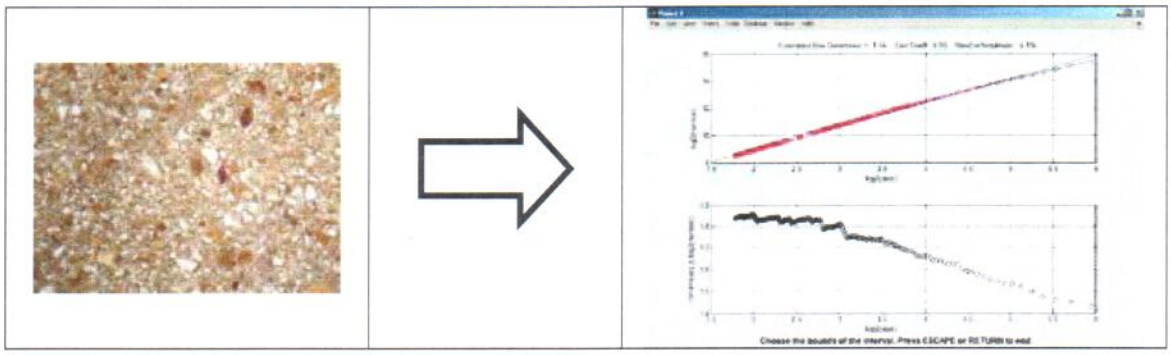

Figura 3. Analisis de Dimensión fractal por el métodos de conteo de cajas.

Análisis reológico. Previo al análisis cada una de las muestras fue incubada a 50°C durante 75 minutos (7) y posteriormente se analizaron con un reómetro "AR-1000" de TA Instruments. En cuanto a la técnica de caracterización reológica, su utilizó la sugerida por la Asociación Internacional de Confitería (ICA, por sus siglas en inglés) y la ecuación de Casson (8). Por otro lado, se realizó un análisis de viscosidad utilizando la manteca de cacao como medio de dispersión.

Simulación de viscosidad. Por medio de la ecuación Krieger–Dougherty con modificaciones propuestas por Quemada (1998) (9) y Belton (2007) (10), se logró adaptar un modelo matemático en el que la viscosidad del chocolate es función de la dimensión fractal y el tamaño de partícula (que a su vez son función del tiempo de proceso). La ecuación fue alimentada con los datos experimentales y los datos calculados.

Resultados y Discusión

En la Figura 4 se muestra la disminución del tamaño de partícula en función del tiempo de proceso obtenida mediante análisis por microscopía. En la Figura 5 se muestra el aumento de la dimensión fractal en función al tiempo de proceso. El modelo (1) surge de una modificación y ajuste del modelo de Krieger–Dougherty, éste describe la viscosidad en función de la disminución del tamaño de partícula y el aumento de la dimensión fractal; el modelo fue ajustado con los datos experimentales de tamaño de partícula y dimensión fractal.

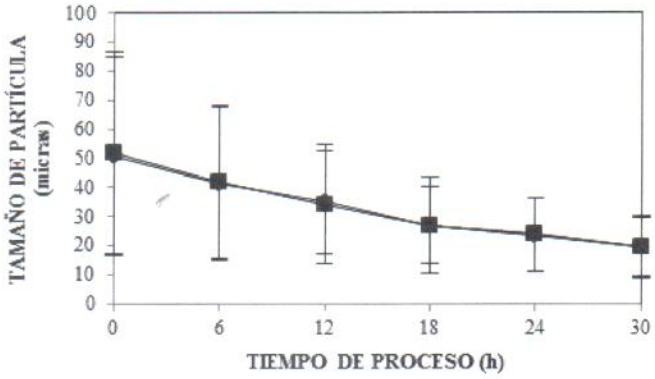

Figura 4. Disminución de tamaño de partícula en función del tiempo.

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ

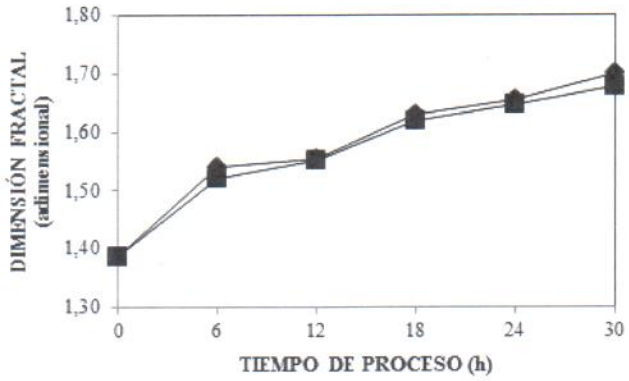

Figura 5. Aumento de la dimensión fractal en función del tiempo.

$$\eta = \left[1 - \left(\frac{\phi}{\phi_m}\right) N^{(3-D_n)/D_n}\right]^{-2} \cdot \eta_{medio} \quad (1)$$

En el modelo (1) el factor N es función del tamaño de partículas y se calcula con la ecuación (2);

$$N = \frac{\left[S_i^{(2.66-D_f)}\right]}{T_i} \quad (2)$$

Donde T_i es la media en el tamaño de partícula en cada tiempo y S_i es la desviación estándar del promedio por cada tiempo. En la Tabla 1 se muestran los resultados experimentales de viscosidad de acuerdo a la regresión por el modelo de Casson y se muestran los resultados obtenidos por el modelo (1).

Tabla 1. Viscosidad esperimental y viscosidad modelada en función del tiempo de proceso.

Tiempo de proceso (h)	Viscosidad experimental (Pa·s)	Viscosidad modelada (Pa·s)
0	8,52	12,76
6	5,61	5,02
12	4,95	4,49
18	4,08	4,03
24	4,01	3,62
30	3,56	3,59

Conclusiones

Los resultados anteriores muestran que para efectos del proceso del chocolate es posible modelar la viscosidad midiendo a lo largo del mismo, variables como tamaño de partícula y dimensión fractal. La ecuación propuesta no modela de forma exacta el cambio de la viscosidad a los largo del proceso, pero puede ser un método rápido para verificar los tiempos de conchado en un proceso a pequeña escala. La mejor aproximación del modelo se dio con los valores obtenidos de 12 horas en adelante. Las técnicas de análisis de imágenes podrían ser extrapoladas al análisis y caracterización de distintos tipos de alimentos que presenten partículas en el orden de tamaño de micro partículas.

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ

Referencias

1. Quemada D., and Berli C., Advances in Colloid and Interface Science, 98:1, 51 (2002).
2. Taylor J.E., *et al.*, Journal of Food Science, 74:2, E55 (2009)..
3. Genovese D.B., Lozano J.E., and Rao M.A., Journal of Food Science, 72:2, R11 (2007).
4. Norma Oficial Mexicana *NOM-186-SSA1/SCFI-2002.*
5. Choi, Y. and M.R. Okos., Journal of Food Process and Applications, 1986. **1**(1): p. 93 – 101.
6. Tang D., and Marangoni, A. G., Chemical Physics Letters, 433:1-3, 248 (2006).
7. Afoakwa E.O., Paterson A., and Fowler, M., European Food Research and Technology, 226:6, 1259 (2008).
8. Beckett, S.T., *The Science of Chocolate*. 2nd ed. 2008.
9. Quemada D., The European Physical Journal - Applied Physics, 1:1, 119 (1998).
10. Belton, P., *The Chemical Physics of Food,* 264 (2007).

© 2012 Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química AMIDIQ