

CHOCOLATE REDUCIDO EN AZÚCAR OBTENIDO POR TECNOLOGÍA DE MOLINOS DE BOLAS

Elizet Rodríguez-Sierra, Elaine Benítez-Correa, Margarita Nuñez de Villavicencio
y Juan González*

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3 ½, C.P. 19 200, La Habana, Cuba.

E-mail: elizet@iiaa.edu.cu

Recibido: 11-02-2019 / Revisado: 20-02-2019 / Aceptado: 14-03-2018 / Publicado: 29-04-2019

RESUMEN

La inulina y la polidextrosa son ingredientes alimentarios que pueden ser utilizados como agentes de volumen en sustitución de materias primas como el azúcar. Se utilizó un diseño de mezcla con ocho corridas experimentales, tomando como límites el contenido de inulina (0 a 15 % m/m) y el contenido de polidextrosa (0 a 15 % m/m). Las variables de respuesta sensoriales medidas fueron: cremosidad, dulzor, regusto amargo atípico, sonido al partir y calidad global, y las reológicas: viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia. Para la evaluación sensorial se emplearon catadores adiestrados y para obtener los valores reológicos se usó un reómetro Anton Para MCR con sistema rotacional de cilindro concéntrico. Se ajustaron modelos matemáticos para los atributos sensoriales, no así para las variables viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia. Se seleccionó la mejor formulación de chocolate amargo optimizando las características sensoriales. Se obtuvo una formulación óptima con 6,4 % m/m de inulina y 8,6 % m/m de polidextrosa que representa una reducción del 50 % del azúcar total.

Palabras clave: chocolate, inulina, polidextrosa, estevia.

ABSTRACT

Chocolate reduced in sugar obtained by mill ball technology

Inulin and polydextrose are food ingredients that can be used as bulking agents to replace raw materials such as sugar. A mix design with eight experimental runs was used, taking as limits the inulin content (0-15% w/w) and the polydextrose content (0-15% w/w). The sensory variables measured were: creaminess, sweetness, atypical bitter aftertaste, snap and global quality, and the rheological: plastic viscosity and yield stress. In sensory evaluation expert judges were used. The rheological values were measured using an Anton Paar MCR rheometer with concentric cylinder rotational system. Mathematical models were adjusted for the sensory attributes, except for the variables plastic viscosity and yield stress. The best chocolate formulation was selected, optimizing the sensory characteristics. An optimal formulation with 6.4% w/w inulin and 8.6% w/w polydextrose was obtained that represents 50% of sugar reduction.

Keywords: chocolate, inulin, polydextrose, stevia.

INTRODUCCIÓN

El chocolate es un alimento muy demandado mundialmente debido principalmente a su atractivo sensorial. Aunque su consumo debe ser estimulado también por su calidad nutricional, ya que el cacao es una fuente importante de polifenoles en forma de flavonoides, que son beneficiosos por su capacidad antioxidante (1). Se conoce que el chocolate puede contener entre 30 y 60 % de sacarosa según el tipo de chocolate a preparar, aportando 394 kcal/100 g de azúcar refinado (2). Para obtener un chocolate reducido en azúcar se debe lograr

***Elizet Rodríguez Sierra:** Licenciada en Ciencias Alimentarias (Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, 2018). Reserva científica en la Planta Piloto de Cereales. Desarrolla sus investigaciones para mejorar la calidad y valor nutricional de los productos en el área de confitería.

una reducción del 25 % o más del aporte de azúcares simples con respecto al alimento de referencia (3, 4). Al sustituir total o parcialmente el azúcar, se incorporan ingredientes que pueden afectar las características de flujo y sensoriales de un chocolate. En este sentido, la sustitución de sacarosa se ha incrementado en los últimos años, rediseñando productos tradicionales para optimizar su valor nutritivo. La inulina y polidextrosa fueron utilizadas como agentes de volumen para sustituir totalmente el azúcar (56 %) en la manufactura de un chocolate elaborado por el método tradicional (5). Las tecnologías alternativas que se emplean en la actualidad para la fabricación de chocolate a escala piloto e industrial utilizan molinos de bolas para la reducción del tamaño de partículas y tienen como limitación que solo se puede incorporar hasta 15 % de fibra dietética sin modificar la viscosidad del chocolate hasta valores críticos que no permitan la recirculación del producto. Por tanto, el resultado obtenido en el estudio mencionado no es replicable con la tecnología alternativa. Según la bibliografía consultada al incorporar diferentes porcentajes de inulina y polidextrosa se obtienen chocolates con características variadas (2, 5).

La inulina y polidextrosa han sido empleadas en formulaciones de alimentos, reportándose que dichos ingredientes confieren beneficios adicionales al organismo humano, entre ellos su función como fibra dietaria y su acción prebiótica (6, 7). Para aprovechar los beneficios de estos polisacáridos como agentes de volumen, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la mezcla de inulina y polidextrosa sobre las características reológicas y sensoriales de un chocolate amargo reducido en azúcar fabricado mediante tecnología de molinos de bolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para las corridas experimentales (Tabla 1) se utilizó inulina (Cosucra, Bélgica), polidextrosa (Tate & Lyle, Holanda), estevia (95 % de Rebaudiósido A, Coralim, España), licor de cacao (Baracoa, Cuba) con contenido de grasa 55 % y humedad 1,9 %, azúcar refinada (Tecnoazúcar, Cuba), lecitina de soya (Química BDI, México) y vainillina (Wanglong Tech, China).

Se utilizó como referencia un chocolate con 30 % de azúcar y 70 % de cacao. Se tomaron como límites 0 a 15 % m/m de inulina y 0 a 15 % m/m de polidextrosa.

El dulzor teórico aportado por la estevia se calculó en base a su poder edulcorante dado que 1 g de estevia sustituye 300 g de azúcar. En las combinaciones de mezcla se mantuvieron constantes el contenido de azúcar refinada (15 %), licor de cacao (70 %), lecitina de soya (0,4 %), vainillina (0,1 %) y estevia (0,05 %).

Para la elaboración del chocolate se empleó el sistema WaFa de 10 kg de capacidad. Para obtener la pasta de chocolate se añadieron las materias primas grasas y posteriormente las secas, hasta lograr una mezcla homogénea, después se adicionaron la vainillina y la lecitina. Todos los ingredientes fueron mezclados hasta lograr un tamaño de partículas de $28 \pm 2 \mu\text{m}$, el cual se logró al transcurrir 80 min. La mezcla obtenida fue tratada durante 3,5 h en una concha longitudinal Ströter de 1 kg. Pasado este tiempo se pesó el chocolate correspondiente para la preparación del producto y se atemperó hasta $31 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Después del atemperado se depositó el chocolate en los moldes y se enfrió a

Tabla 1. Matriz experimental

Corrida	Inulina (% m/m)	Polidextrosa (% m/m)
1	7,50	7,50
2	11,25	3,75
3	0,00	15,00
4	15,00	0,00
5	0,00	15,00
6	15,00	0,00
7	7,50	7,50
8	3,75	11,25

temperatura de 11 ± 1 °C en cámara de enfriamiento. El producto terminado fue envasado y almacenado hasta su posterior análisis.

La evaluación sensorial de las muestras se realizó con siete catadores adiestrados en este tipo de productos. Se utilizó el método descriptivo cuantitativo (8), con la hoja de cata para chocolate con los siguientes descriptores a evaluar: cremosidad, dulzor, regusto amargo, sonido al partir y calidad global.

Las variables reológicas de respuesta a determinar fueron viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia, las que se obtuvieron según el método normalizado por la IOCCC (9). El instrumento utilizado fue un reómetro Anton Paar MCR. Se empleó el sistema rotacional de cilindro concéntrico a velocidad de deformación entre 2 y 50 s⁻¹. Las respuestas de las variables de viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia finalmente se calcularon a través de un programa computarizado conectado al equipo.

El diseño de mezcla se realizó con el programa Design Expert ver. 8.0.6 (Stat-Ease, Minneapolis, MN). La Tabla 2 muestra los criterios de selección que se tuvieron en cuenta para escoger la formulación óptima. La cremosidad es un atributo deseado en el chocolate, por lo que un valor por encima de cuatro puntos (ligera) se considera que favorecerá el producto y brindará una mejor aceptación.

Con el fin de que los consumidores acepten umbrales de dulzor inferiores en correspondencia con las tendencias mundiales, dicha reducción debe realizarse de forma gradual para garantizar la aceptación del producto desarrollado. Se conoce de estudios anteriores realizados en el laboratorio que un chocolate con 70 %

de licor de cacao y 30 % de azúcar posee un dulzor sensorial de 4 puntos en una escala estructurada, lo que representa un intermedio entre las categorías de ligero-moderado. Para el caso de un chocolate 60 % de licor de cacao y 40 % de azúcar, la comisión sensorial lo califica con 8 puntos correspondiente a la categoría de marcado, valor más aceptado por los consumidores actualmente. Por este motivo se estableció el criterio reflejado en la Tabla 2 para el atributo dulzor, donde la puntuación establecida fue mayor o igual que 4, que incluye el valor asignado por la comisión sensorial para un chocolate con 30 % de azúcar y valores superiores para garantizar una mayor aceptación.

El regusto amargo atípico es un atributo que se considera desagradable pudiendo este afectar notoriamente la aceptación del producto, por eso el intervalo seleccionado. Para el caso de la calidad global, como se observa en la Tabla 2, la puntuación de este descriptor corresponde a 5 puntos como mínimo, ya que se desea que el producto tenga una buena calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los parámetros viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia no fue posible ajustar un modelo matemático que describiera el comportamiento de la variable medida con respecto a los componentes de la mezcla (inulina y povidona). La Tabla 3 presenta los resultados del análisis reológico de las muestras donde se aprecia una similitud entre los valores que impide la obtención de un polinomio.

De acuerdo a los valores de viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia de las muestras, se puede afirmar que es posible emplear cualquiera de las formulaciones

Tabla 2. Criterios de optimización

Atributo sensorial	Condición
Cremosidad	≥ 4 (ligera)
Dulzor	≥ 4 (ligero)
Regusto amargo	$\leq 2,5$ (muy ligero-ligero)
Calidad global	≥ 5 (aceptable-bueno)

Tabla 3. Valores obtenidos de viscosidad plástica y esfuerzo de fluencia en las muestras estudiadas

Inulina (% m/m)	Polidextrosa (% m/m)	Viscosidad plástica (Pa·s)	Límite de fluencia (Pa)
7,50	7,50	7,01	17,32
11,25	3,75	6,20	19,55
0,00	15,00	7,58	18,49
15,00	0,00	5,95	18,06
0,00	15,00	6,41	18,33
15,00	0,00	7,43	19,68
7,50	7,50	6,67	19,01
3,75	11,25	5,40	17,11

estudiadas para moldeado de forma artesanal. Sin embargo, si se quisiera extender la producción a escala industrial, los valores de las características de flujo no cumplen con los establecidos en la literatura para clasificar el chocolate según su aplicación.

Los resultados para viscosidad plástica (Tabla 3) son superiores a los valores ideales para el moldeado de superficies lisas e irregulares (10). Esto conduce a que las burbujas de aire formadas queden atrapadas entre el molde y el chocolate debido a la alta viscosidad. Por consiguiente se obtendrá un producto con oquedades que puede ser rechazado sensorialmente (11).

El esfuerzo de fluencia en las muestras es también elevado (17 a 19 Pa) en comparación con los valores ideales para moldeado y bañado (0,5 a 10 Pa). Teniendo en cuenta esto se necesitaría aplicar una fuerza mayor para dosificar y distribuir el chocolate en el molde. En productos bañados, al tener un mayor esfuerzo de fluencia se afecta la uniformidad de la capa de recubrimiento y el espesor de la misma sería mayor, disminuyendo el rendimiento del chocolate.

Como solución a la problemática planteada anteriormente, en la industria de chocolatería es común el empleo de PGPR en combinación con la lecitina de soya. En el chocolate elaborado la lecitina de soya se encuentra en 0,4 %, y solo es posible incrementar 0,1 % para disminuir la viscosidad plástica, ya que a valores por encima de 0,5 % se obtiene el efecto contrario. Es probable que dicho incremento en el contenido de lecitina de soya no sea suficiente para disminuir la vis-

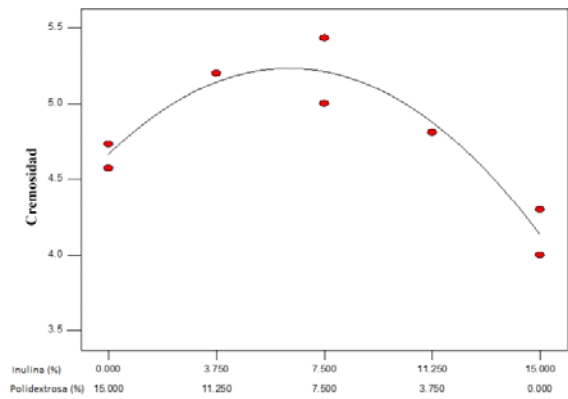
cosidad hasta los niveles requeridos para su aplicación industrial. Por tanto, una alternativa sería incrementar el tiempo de «conchado», tratamiento que incide sobre las partículas sólidas que son disociadas por fricción y se vuelven más redondeadas. Se ha planteado que a partir de 8 h de «conchado» se tiene un efecto significativo sobre la viscosidad plástica (12). Sería recomendable definir el tiempo óptimo para las muestras elaboradas con el fin de obtener cambios significativos en la viscosidad, sin afectar la eficiencia del proceso.

La corrección del esfuerzo de fluencia se puede lograr mediante la utilización de PGPR. En la literatura se recomienda utilizar un porcentaje máximo de 0,58 % para disminuir el esfuerzo de fluencia sin apreciables efectos en la viscosidad plástica. Por encima de dicho porcentaje se impide la correcta cristalización de la manteca de cacao (13), lo que conduce a problemas tecnológicos al extraer el chocolate del molde y tiene un efecto negativo en la estabilidad de la grasa (14).

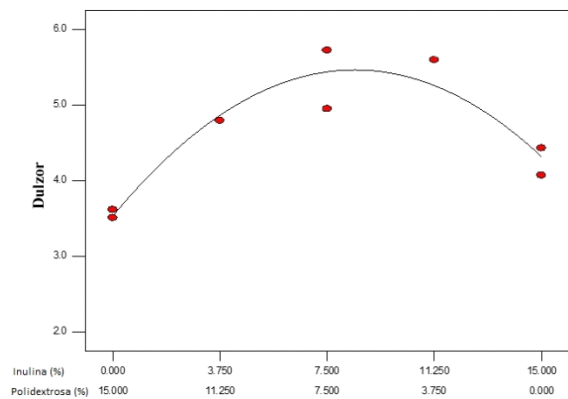
De manera general, no existe una convergencia entre los valores ideales de las variables reológicas medidas que permita su clasificación para usos industriales. Se plantea que una de las desventajas de la tecnología de molinos de bolas es la incidencia marcada en las características reológicas debido a la trituración excesiva de las partículas sólidas durante el refinado (15). El comportamiento de las variables analizadas pudiera ser una consecuencia del uso de una tecnología alternativa para la elaboración de chocolate, y no estar relacionado con la mezcla en estudio.

La Fig. 1 presenta los resultados sensoriales de las muestras. De manera general, fue posible ajustar modelos matemáticos que describen el comportamiento

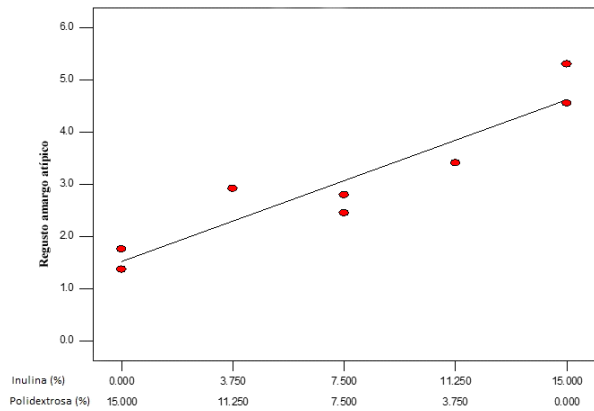
de las variables medidas para los atributos cremosidad, dulzor, regusto amargo atípico, sonido al partir y calidad global. En las ecuaciones que se



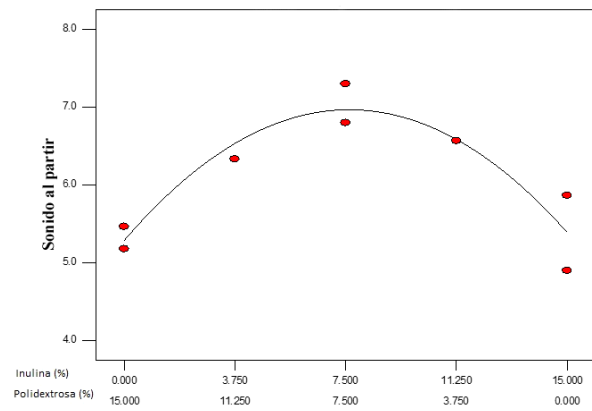
(a)



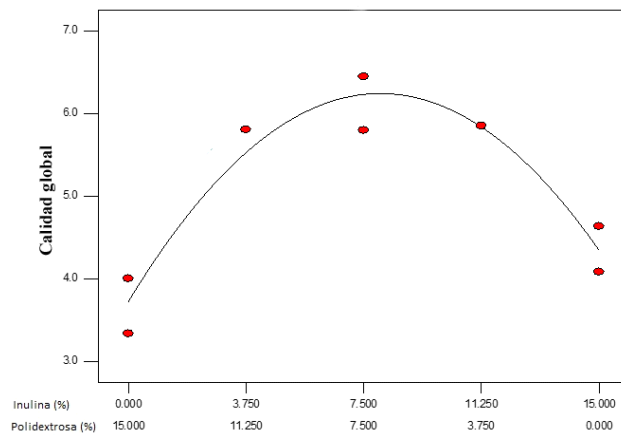
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 1. Representación de los polinomios obtenidos para los atributos sensoriales.

muestran a continuación el término y corresponde a la variable dependiente (atributo sensorial) y los términos X_1 y X_2 corresponden a los componentes de la mezcla inulina y povidexrosa, respectivamente.

La ecuación 1 muestra el modelo obtenido para la cremosidad, en el cual ambos componentes tienen influencia.

$$Y = 3,25 X_1 X_2 + 4,13 X_1 + 4,67 X_2 \quad (\text{ecuación 1}) \quad R^2 = 0,896$$

En la Fig. 1a se observa la forma cuadrática de la curva, lo cual indica que a los valores extremos de ambos componentes le corresponde la menor cremosidad. Este atributo aumenta a medida que aumenta el contenido de inulina, hasta un punto (7,5 %) donde comienza a disminuir. Se conoce que la densidad de la inulina (1,31 g/cm³) es menor comparada con la densidad de la povidexrosa (1,46 g/cm³), por tanto, formulaciones con altos niveles de inulina tienen un mayor volumen de partículas (5) que al parecer afectan la cremosidad del chocolate elaborado.

Como se muestra en la ecuación 2, el coeficiente del término correspondiente a la inulina es ligeramente mayor que el coeficiente correspondiente a la povidexrosa. Este comportamiento es lógico puesto que la inulina aporta 10 % más de dulzor que la povidexrosa, por lo que ejerce mayor influencia sobre este atributo. En la Fig. 1b se observa que cercano a la zona central se tiene el dulzor máximo registrado y a partir de este punto la tendencia es decreciente, aun cuando continúa aumentando la concentración de inulina. Al parecer, dicho comportamiento se debe a que existe una interacción positiva entre la inulina, la povidexrosa y la estevia, por tanto, el atributo dulzor disminuye en los extremos donde no está presente uno de estos ingredientes.

$$Y = 6,06 X_1 X_2 + 4,32 X_1 + 3,53 X_2 \quad (\text{ecuación 2}) \quad R^2 = 0,893$$

La ecuación 3 demuestra que la inulina tiene mayor influencia en el regusto según el valor de su coeficiente. El regusto está dado fundamentalmente por el sabor atípico que aportan los glicósidos de esteviol contenidos en el edulcorante intenso utilizado (estevia). Utilizando este edulcorante en alimentos comercializados se ha descrito un regusto a regaliz y un dulzor persistente (16). La Fig. 1c muestra un comportamiento descendente del regusto a medida que disminuye el contenido de

inulina y aumenta la povidexrosa, a pesar de que el contenido de estevia se mantiene constante en el estudio realizado. Se ha demostrado que la povidexrosa mejora el sabor del chocolate y permite que el dulzor y el sabor a cacao permanezcan por más tiempo en la boca (17).

$$Y = 4,62 X_1 + 1,52 X_2 \quad (\text{ecuación 3}) \quad R^2 = 0,872$$

La Fig. 1d muestra como el atributo sonido al partir de las variantes estudiadas aumentó con el incremento del contenido de inulina y la disminución de povidexrosa. Este atributo está relacionado con la composición del producto, las condiciones de elaboración y el atemperado, consecuentemente con el polimorfismo de los cristales de la manteca de cacao (18). En su composición, la inulina ocupa mayor volumen, para una misma masa de chocolate, cuando aumenta el contenido de inulina aumenta la cantidad de sólidos suspendidos en la fase continua que compiten por la grasa libre, por tanto la red cristalina es menos compacta y el material menos cohesivo, lo cual explica el menor sonido al partir que se obtiene para el nivel más alto de inulina. Se conoce además que la povidexrosa tiene cierta higroscopicidad y que la absorción de humedad provoca un efecto de plasticidad en el chocolate que resulta negativo (14), de ahí la disminución del sonido al partir en muestras con mayores porcentajes de povidexrosa. Aproximadamente en el punto central se observa el valor más alto del atributo en estudio, al parecer, la combinación de ambos ingredientes en partes iguales ejerce menor influencia sobre la red cristalina formada.

$$Y = 6,51 X_1 X_2 + 5,39 X_1 + 5,29 X_2 \quad (\text{ecuación 4}) \quad R^2 = 0,860$$

Como se muestra en la Fig. 1e, las variantes estudiadas con límites máximos de inulina y povidexrosa obtuvieron las menores puntuaciones por la comisión sensorial. Las mezclas igualitarias de inulina y povidexrosa recibieron puntuaciones más altas. Del modelo matemático (ecuación 5) se puede apreciar que la inulina es el componente más significativo, por lo que tiene mayor influencia sobre la calidad del chocolate elaborado. Considerando que este atributo es la evaluación general de todos los atributos presentes en el producto, el comportamiento que se observa está estrechamente relacionado con el obtenido para los atributos evaluados anteriormente.

$$Y = 8,80 X_1 X_2 + 4,62 X_1 + 1,52 X_2 \text{ (ecuación 5)} \quad R^2 = 0,872$$

Como resultado, se obtuvo una formulación con 6,4 % de inulina y 8,6 % de povidex. Esta solución se encuentra en el intervalo de confianza de 95 %. Dicha formulación corresponde con la puntuación fijada para los atributos optimizados, cremosidad: 5,2 puntos (ligero-moderado), dulzor: 5,4 (ligero-moderado), regusto amargo atípico: 2,9 (muy ligero-ligero) y calidad global: 6,1 (buena).

CONCLUSIONES

La sustitución de azúcar por una mezcla de inulina y povidex en proporciones variables afecta las características reológicas y sensoriales del chocolate amargo. La formulación óptima contiene 6,4 % m/m de inulina y 8,6 % m/m de povidex, logrando una reducción de 50 % de azúcar. Se recomienda añadir a la formulación el máximo nivel permisible de lecitina de soya y adicionar PGPR, así como aumentar el tiempo de «conchado» para disminuir el esfuerzo de fluencia y la viscosidad.

REFERENCIAS

1. Meier B, Noll S, Molokwu O. The sweet life: the effect of mindful chocolate consumption on mood. *Appetite* 2017; 108(1):21-7.
2. Aidoo R, Afoakwa E, Dewettinck K. Rheological properties, melting behaviours and physical quality characteristics of sugar-free chocolates processed using inulin/polydextrose bulking mixtures sweetened with stevia and thaumatin extracts. *LWT - Food Sci Technol* 2015; 62(1):592-7.
3. Zacarías I, Vera G. Selección de Alimentos. Uso del Etiquetado Nutricional para una Alimentación Saludable. Manual de consulta para profesionales de la salud. Chile; 2005.
4. Resolución No. 281. Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad. Reglamento Técnico Centroamericano. Honduras; 2012.
5. Aidoo R, Appah E, Dewalle D, Afoakwa E, Dewettinck K. Functionality of inulin and polydextrose as sucrose replacers in sugar-free dark chocolate manufacture – effect of fat content and bulk mixture concentration on rheological, mechanical and melting properties. *Int J Food Sci Technol* 2016; 52(1):282-90.
6. Madrigal L, Sangronis E. La inulina y sus derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Arch Latinoam Nutr* 2007; 57(4):387-96.
7. Kang Z, Ting-Song W, Craig SA. Studies on the effects of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. *Am Soc Clin Nutr* 2000; 72(6):1503-9.
8. ISO 13299. Sensory analysis. Methodology general. General guidance for establishing a sensory profile. 2014.
9. OICCC. Viscosity of Chocolate. Determination of Casson yield value and Casson plastic viscosity. Analytical method; 2000.
10. Hogenbirk G. Viscosity and yield value for chocolate and coatings – What they are and how to influence them. *Confectionery Production* 1988; August: 456-7.
11. Vidal E, Caetano Suzana. Chocolate rheology. *Cienc Tecnol Aliment* 2010; 30(4): 845-51.
12. Prawira M, Barringer S.A. Effects of conching time and ingredients on preference of milk chocolate. *J Food Process Preserv* 2009; 33(1):571-89.
13. Stroppa L. Influência de lecitina e pgpr no processo de microestruturação de chocolate amargo. (tesis maestría). Brasil: Facultad de Ingeniería Química de Brasil; 2011.
14. Beckett ST. *The Science of Chocolate* (second ed.). Cambridge, Reino Unido: The Royal Society of Chemistry; 2009.
15. Jorge M, Rodríguez I, García Y, Beltrán C, Brito Y. Incidencia de la tecnología WaFa (sistema completo) en las características sensoriales del chocolate. *Cienc Tecnol Alim* 2011; 21(1):45-9.
16. Carakostas M, Curry L, Boileau A, Brusick D. Overview: The history, technical function and safety of rebaudioside A, a naturally occurring steviol glycoside, for use in food and beverages. *Food Chem Toxicol* 2008; 46(7):S1-S10.
17. Stowell D. *Fiber ingredients: Food applications and health benefits*. Cap 9. New York: Taylor y Francis Group, LLC; 2009.
18. Afoakwa E. *Chocolate Science and Technology*. United Kingdom: A John Wiley and Sons, Ltd; 2010.