

OPTIMIZACIÓN ESTADÍSTICA DE UN POLVO PARA PREPARAR UNA BEBIDA ALTA EN FIBRA A PARTIR DE BAGAZO DE MANGO (*Mangifera indica* L., VARIEDAD MANILA)

Statistical optimization of a powder to prepare a high fiber beverage from
mango bagasse (*Mangifera indica* L., Manila variety)

Alma Karen Burgos-Araiza, Marcela Gaytán-Martínez

Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
lg.karenburgos@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo optimizar la formulación de un polvo para preparar una bebida alta en fibra. La fuente de fibra utilizada fue bagazo de mango (*Mangifera indica* L., variedad Manila), considerado un subproducto de la industria despulpadora de mango. Para el desarrollo del producto se usó un diseño factorial 3^3 , donde las variables independientes fueron los porcentajes (0.5, 1 y 2%) de goma xantana (XG), carboximetilcelulosa (CMC) y dióxido de silicio (SD). Las variables de respuesta fueron viscosidad, índice de sedimentación, sólidos solubles y color. Con los resultados obtenidos, se optimizó la formulación buscando una mínima viscosidad y mínimo índice de sedimentación, dando como resultado una formulación con 0.5% XG, 0.5% CMC y 0.5% SD, con una $R^2 = 0.85$. La formulación optimizada de la bebida (OB) tuvo un contenido de fibra dietética total del $40.90 \pm 0.19\%$, de la cual $15.03 \pm 1.12\%$ es fibra soluble. Los resultados demuestran que el análisis de superficie de respuesta es una herramienta adecuada y práctica para la optimización de productos alimenticios, además, el bagazo de mango tiene potencial como fuente de fibra para el desarrollo de bebidas.

Palabras clave: bebida, fibra, bagazo de mango, optimización estadística, superficie de respuesta.

ABSTRACT

The objective of the present study was to optimize the formulation of a powder to prepare a high fiber beverage. The source of fiber used was mango bagasse (*Mangifera indica* L., Manila variety), considered a by product of the mango pulping industry. A 3^3 factorial design was used for the development of the product, where the independent variables were the percentages (0.5, 1 and 2%) of xanthan gum (XG), carboxymethylcellulose (CMC) and sili-

con dioxide (SD). The response variables were: viscosity, sedimentation index, soluble solids and color. With the results obtained, the formulation was optimized looking for a minimum viscosity and minimum sedimentation index, resulting in a formulation with 0.5% XG, 0.5% CMC and 0.5% SD, with an $R^2 = 0.85$. The optimized formulation of the beverage (OB) had a total dietary fiber content of $40.90 \pm 0.19\%$, of which $15.03 \pm 1.12\%$ is soluble fiber. The results show that response surface analysis is an adequate and practical tool for the optimization of food products; In addition, mango bagasse has potential as a source of fiber for the development of beverages.

Keywords: beverage, fiber, mango bagasse, statistical optimization, surface response.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es considerado el fruto tropical primario más cultivado en el mundo. En cuanto a ello, México es el quinto productor de mango a nivel mundial [1], con una producción promedio de 58 mil toneladas en el 2016 [2]. Entre las variedades más cultivadas en el país se encuentra el mango manila [3].

En la industria alimentaria, el mango es procesado para obtener gran variedad de productos como pulpas para elaborar jugos o néctares, dulces, conservas, jaleas, salsas, encurtidos, helados, e incluso, fruta deshidratada a manera de botana [4]. En el proceso de obtención de la pulpa, son desechados: la cáscara (15-20%), el hueso (20-60%) y el bagazo, considerados subproductos del mango que equivalen del 40 al 60% del total del producto, lo que representa grandes porcentajes de pérdidas económicas y contaminación al medio ambiente [5].

El bagazo de mango (MB) se define como la porción fibrosa que se encuentra unida al hueso y distribuida en la pulpa del fruto [6], y cuenta con un considerable potencial para el



desarrollo de productos, pues es rico en gran cantidad de compuestos bioactivos como fibra dietética con un $33.12 \pm 1.60\%$, de la cual el $19.43 \pm 1.35\%$ corresponde a fibra insoluble y el $13.68 \pm 0.32\%$ a fibra soluble [7].

Existen diferentes métodos estadísticos de diseños de experimentos para optimizar parámetros respuesta sin o con ciertas restricciones para mínimos o máximos. Algunos de los métodos conocidos son superficie de respuesta, central compuesto, factorial con tres niveles, Box-Behnken y Draper-Lin (fraccionado). Dentro de estos, uno de los más utilizados en la optimización para desarrollo de productos alimenticios es el de superficie de respuesta. Este método también se ha utilizado para optimizar procesos de extracción, secado, escaldado, hidrólisis enzimática y clarificación, así como la producción de metabolitos microbianos [8]. Dentro de las investigaciones en las que se ha usado este método, se han optimizado las características fisicoquímicas de emulsiones de bebidas de aceite de nuez [9], de *snacks* de camarón y maíz [10], de amaranto [11], de un *snack* de moringa extruido rico en hierro [12], de una bebida a base de una mezcla de aditivos y polvo de cacao [13], de una galleta de trigo, soja y cúrcuma [14], y de una premezcla de multigranos para elaborar galletas altas en fibra y proteína [15], entre otras.

Por ello, de acuerdo con la literatura, se propone utilizar la metodología de superficie de respuesta para optimizar el concentrado en polvo para preparar una bebida alta en fibra, pues a partir de este método se pueden predecir las condiciones o interacciones óptimas entre las variables respuesta analizadas, para maximizar o minimizar las variables independientes y predecir las condiciones ideales del desarrollo [16]. Aunado a esto, y a pesar del importante contenido de fibra, antioxidantes y compuestos fenólicos, el MB no ha sido aprovechado como ingrediente para elaborar bebidas, aunque sí se ha utilizado en confitería funcional [7]. Es por esto, que el objetivo del presente estudio fue optimizar estadísticamente un concentrado en

polvo para preparar una bebida alta en fibra, a partir del método de superficie de respuesta y del bagazo de mango (*Mangifera indica* L., variedad Manila).

METODOLOGÍA

Materia prima: bagazo de mango manila

El bagazo de mango (*Mangifera indica* L. variedad Manila) fue proporcionado por una empresa despulpadora y productora de jugos, ubicada en San Juan del Río, Querétaro, México. El material fue colectado en bolsas de plástico, almacenado en recipientes y congelado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para los estudios posteriores.

Desarrollo del concentrado en polvo

Para el desarrollo de la bebida, se llevó a cabo un diseño de experimento factorial 3^3 , en el que las variables independientes fueron los porcentajes de goma xantana (XG) (0.5, 1 y 2%), carboximetilcelulosa (CMC) (0.5, 1 y 2%) y dióxido de silicio (SD) (0.5, 1 y 2%). Las variables de respuesta evaluadas fueron viscosidad, índice de sedimentación, sólidos disueltos ($^{\circ}\text{Brix}$), y determinación de color en los parámetros L (luminosidad), C (croma) y H (matiz). Las cantidades de uso de los aditivos se establecieron con base en la NOM-218-SSA1-2011 y el Codex Alimentarius 192-1995 [17], [18]. Las formulaciones utilizadas para el diseño de experimentos se muestran en la Tabla 1.

Preparación de la muestra para análisis

El bagazo se deshidrató a $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un deshidratador (Excalibur 9-try Delux, model #39000, USA). Se pulverizó en un molino (KRUPS GX4100, México) hasta obtener un tamaño promedio de partícula de $128.28 \pm 0.99\text{ }\mu\text{m}$. Para la preparación de la bebida, el bagazo en polvo se mezcló con CMC, XG y SD, según el diseño de experimento (véase Tabla 1), hasta obtener una mezcla homogénea. Posterior-

mente se mezcló con agua purificada en una relación 1:25 (concentrado en polvo:agua) por 2 minutos hasta homogeneizar.

La cantidad utilizada de bagazo de mango aseguró la inclusión de 8 g de fibra dietética por porción (500 ml), con el objetivo de que la bebida fuera una fuente de fibra dietética para un adulto de 19 a 50 años [19] y de que aporte al menos el 20% de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR).

Caracterización fisicoquímica de la bebida

Viscosidad

Se utilizó un reómetro Anton Paar modelo MCR101 (número de serie 80689904, Austria) con una geometría ST24-2D/2V/2V-30. Las condiciones de medición fueron 2 minutos, a 25 °C con una velocidad constante de 160 minutos⁻¹. La viscosidad se reportó en centipoises (cP). Cada medición se realizó por triplicado.

Índice de sedimentación

Se tomó como base la metodología propuesta por [20], con algunas modificaciones. Se prepararon 50 ml de bebida (nivel inicial) en una probeta y después de dos horas se registró la sedimentación. El porcentaje de sedimentación se estableció como la relación del nivel inicial y final de cada muestra. Cada medición se realizó por triplicado.

Sólidos disueltos

Se realizó con base en la metodología propuesta por [21]. Se utilizó un refractómetro de mano de la marca CMS Metrology. La medición se realizó a una temperatura de 26 ± 1 °C. Cada medición se realizó por triplicado.

Determinación de color

Se realizó siguiendo la metodología propuesta por [22] con un colorímetro de pre-

cisión de la marca High-Quality Colorimeter (modelo NH310 de 8 mm). Los valores que se determinaron fueron luminosidad (L), croma (C) y matiz (H), de acuerdo con el sistema de color de la CIE [23]. Para determinar, se utilizaron 20 ml de muestra que se vertieron en un recipiente transparente. La medición de color se realizó a una distancia de 0.5 cm entre el lente y la superficie de la muestra. Cada medición se realizó por triplicado.

Además, de acuerdo con [24] se calculó el valor de diferencial de color (ΔE , Ecuación 1) para la bebida con MB en contraste con un concentrado en polvo comercial para preparar bebidas, comparando además los valores de L, C y H.

$$\Delta E *_{LCH} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta C^2 + \Delta H^2} \quad (1)$$

Optimización de la bebida

Con base en los resultados obtenidos del diseño factorial 3³, se encontró que una viscosidad alta se considera un parámetro sensorial negativo para la bebida de BM. Por tal razón, se procedió a realizar una optimización de la formulación. La optimización se llevó a cabo mediante un análisis de regresión factorial usando viscosidad y sedimentación como variables respuesta, dado que fueron los factores que tuvieron un efecto significativo sobre el modelo de superficie de respuesta obtenido. Para seleccionar la mejor formulación se establecieron valores mínimos de viscosidad e índice de sedimentación con una deseabilidad mayor a 85%.

Caracterización química de la bebida optimizada

Se determinó la composición proximal de la bebida optimizada, analizando el contenido de humedad (método 925.10), cenizas (método 942.05), proteínas (método 920.15), lípidos (método 920.39), carbohidratos (se calcu-



ló por diferencia) y fibra dietética total (soluble e insoluble) (método 941.43), de acuerdo con las metodologías propuestas por la AOAC 2002. Los azúcares reductores se determinaron por el método DNS [25].

Análisis estadístico

El número de tratamientos estudiados se estableció para el ajuste de un modelo de primer orden. Los resultados del análisis factorial aleatorio 33 se evaluaron en el paquete estadístico de Minitab 17. Las variables independientes evaluadas fueron concentración de CMC (0.5, 1 y 2%), goma xantana (0.5, 1 y 2%) y dióxido de silicio (0.5, 1 y 2%). La significancia del modelo se justificó mediante el análisis de la varianza (prueba F), y el efecto de las variables fueron observadas a través de los gráficos de superficie de respuesta.

Respecto a la optimización para la bebida, para seleccionar la mejor formulación se tomaron en cuenta dos variables respuesta: viscosidad e índice de sedimentación. Se realizó un análisis de regresión lineal donde se consi-

deraron valores mínimos para estas variables respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los aditivos sobre las formulaciones

Viscosidad

En la Figura 1 se muestran los gráficos de superficie de respuesta para viscosidad que se obtuvieron a partir de las 27 formulaciones del diseño factorial 33. Se observa la influencia de la interacción entre CMC y XG sobre la viscosidad de la bebida a diferentes concentraciones de SD, debido a que la adición de SD no mostró efecto significativo sobre estas variables. Las mezclas presentaron valores experimentales de viscosidad que van desde los 32.84 ± 0.49 cP (fórmula 1: 0.5% CMC, 0.5% XG y 0.5% SD) hasta los 157.50 ± 0.89 cP (fórmula 26: 2% CMC, 2% XG y 1% SD). La CMC y la XG tuvieron un efecto significativo sobre la viscosidad ($p < 0.01$), al igual

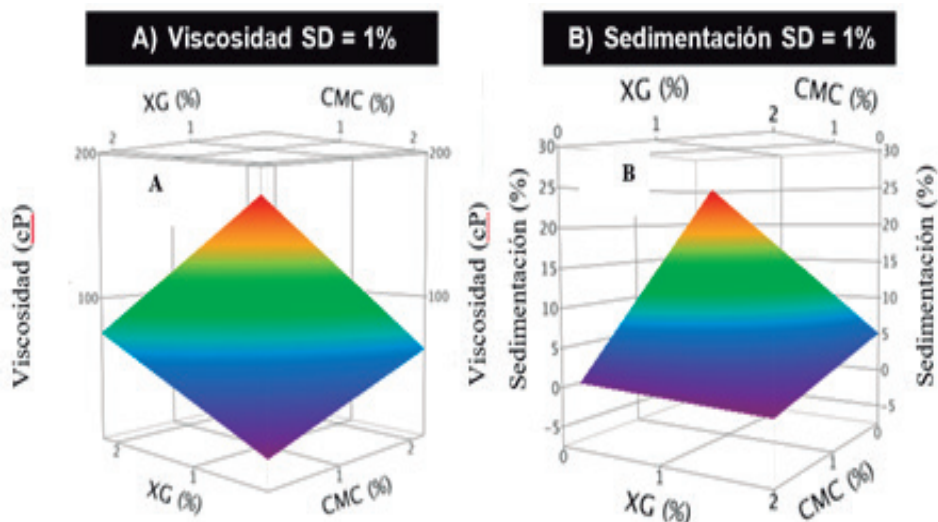


Figura 1. Diagramas del análisis de superficie de respuesta que muestran A) la interacción entre CMC y goma xantana al 1% de dióxido de silicio para la viscosidad y B) índice de sedimentación. Solo el gráfico para 1% de SD se incluye como una representación del comportamiento, ya que la variación de % de SD no tuvo un efecto significativo sobre la viscosidad y el índice de sedimentación.

que la interacción CMC con XG. Se vislumbró que a mayor proporción de gomas (CMC y XG), la viscosidad aumentó. De manera similar, [26] reportaron que la adición de CMC incrementa la viscosidad de una leche sabor frambuesa en forma lineal, dependiente de la concentración de CMC. Por otra parte, [27] mencionan un aumento de viscosidad al incrementar la cantidad de XG en jugos de frutas y bebidas lácteas, debido a la estructura química de las moléculas, en particular, las de CMC que adsorben a las partículas del concentrado en polvo durante la agitación mecánica, formando un revestimiento que las protege, evitando agregaciones o floculaciones [28]. Por otra parte, [29] encontraron que las mezclas con XG aumentan la viscosidad, ya que su peso molecular es mayor y aumentan las fuerzas de repulsión electrostática, lo cual aporta una mayor estabilidad, manteniendo la viscosidad del producto.

De acuerdo con [30], las bebidas con valores de viscosidad entre 51-350 cP se consideran néctar/similar a jarabe. Dado que el polvo para la bebida desarrollada era para obtener un agua saborizada, se descartaron aquellas formulaciones con un valor de viscosidad > 51 cP.

Índice de sedimentación

En la Figura 1 se muestra el gráfico de superficie de respuesta del índice de sedimentación para 1% de SD. Se observó que a mayor cantidad de CMC y XG, el índice de sedimentación disminuyó significativamente ($p < 0.01$), en cambio, el SD no tuvo un efecto significativo sobre este parámetro ($p > 0.01$). También se vislumbró un efecto de interacción entre CMC y XG ($p < 0.01$). El menor índice de sedimentación fue del $0.33 \pm 0.58\%$ y el mayor del $27.67 \pm 0.58\%$. Al respecto, un alto porcentaje de sedimentación de partículas se considera una característica que influye negativamente en la aceptación de los productos [31]. De acuerdo con nuestros resultados, la menor sedimentación se logró con 1-2% CMC y 2% de XG. Otro estudio, donde se analizó el comportamiento

de una bebida con semillas de albahaca, reporta valores menores de CMC (0.25-0.5%) para mantener partículas en suspensión, minimizar la sedimentación y dar estabilidad a lo largo del tiempo [32]. Por su parte, [33] en un análisis de un jugo de sandía, encontraron que la XG (0.1-0.2 g/100g) aumenta la homogeneidad, lo que genera que las partículas se mantengan suspendidas, mejorando la estabilidad y minimizando la sedimentación de la bebida.

Por su composición química, la CMC y la XG tienen la propiedad de estabilizar y emulsificar mezclas, pues ayudan a que las partículas del polvo queden suspendidas en el agua, lo que proporciona una apariencia homogénea [32], [34]. Sin embargo, es necesario controlar la cantidad añadida de hidrocoloides debido a que altas concentraciones provocan floculación [35].

Sólidos disueltos

Los valores de la determinación de sólidos disueltos ($^{\circ}$ Brix) estuvieron en un rango de 2.40 ± 0.10 a 3.03 ± 0.06 $^{\circ}$ Bx (véase Tabla 1). No se encontraron diferencias significativas entre las formulaciones, a excepción de la formulación 5 que tuvo el valor más bajo (2.40 ± 0.10). De acuerdo con el análisis estadístico no se observó un efecto significativo de CMC o XG sobre esta variable. Los sólidos disueltos indican la cantidad de sólidos disueltos en un líquido, en particular, de sacarosa [36], [37]. Por tanto, se considera un indicador del contenido de sacarosa en bebidas [38]. Las formulaciones de la bebida a base de BM evaluadas, tuvieron valores significativamente menores a los encontrados en un jugo y néctar comercial (10.6 ± 0.01 y 12.17 ± 0.06 , respectivamente). Lo anterior muestra que los productos comerciales tienen una mayor cantidad de sólidos disueltos y por lo tanto un mayor contenido de sacarosa.

Determinación de color

La determinación de color se realiza como una prueba de calidad, pues el color es un



factor que influye directamente en la aceptación del producto por parte del consumidor [39]. De acuerdo con los resultados obtenidos para color, el valor promedio para L (luminosidad) fue 46.55 ± 0.78 , para C (croma) fue 22.61 ± 0.77 y para H (matiz) fue 58.12 ± 0.89 (véase Tabla 1). No se encontraron diferencias significativas entre las muestras por efecto de la adición de CMC, XG o SD, lo que indica que las variaciones en las concentraciones de los aditivos no afectan el color de las muestras. Se calculó el valor de la variación total de

color (ΔE) para encontrar diferencias entre las formulaciones de la bebida a base de MB contra un polvo comercial para preparar bebidas ($L=46.28 \pm 2.94$, $C=26.74 \pm 0.76$, $H=62.08 \pm 0.91$). El resultado global fue $\Delta E^*=5.72$, lo que indicó que sí existía diferencia de color. Los resultados por parámetro tuvieron valores de $\Delta L^*=+0.27$, $\Delta C^*=-4.13$ y $\Delta H^*=-3.96$ en la comparación, lo que indicó que la bebida desarrollada es más clara ($+\Delta L^*$), con menor saturación de color ($-\Delta C^*$) y con un color menos amarillo ($-\Delta H^*$) que el comercial.

Tabla 1. Efecto de las variables independientes sobre los sólidos disueltos (°Brix) y color de la bebida

Formulación	CMC	XG	SD	Sólidos disueltos (°Brix)	Color		
	(%*)	(%*)	(%*)		L	C	H
1	0.5	0.5	0.5	2.93±0.06	46.63±0.49	22.74±0.77	58.42±0.06
2	0.5	0.5	1	2.97±0.06	46.85±0.79	23.64±0.34	59.02±0.68
3	0.5	0.5	2	3.00	45.71±0.27	22.05±0.45	59.51±0.15
4	0.5	1	0.5	2.97±0.06	47.21±0.04	23.49±0.99	57.50±0.29
5	0.5	1	1	2.40±0.10	47.56±1.12	23.64±0.42	57.52±0.72
6	0.5	1	2	2.97±0.06	47.27±0.23	23.51±0.08	57.08±0.20
7	0.5	2	0.5	3.03±0.06	46.99±0.84	23.49±0.55	57.36±0.44
8	0.5	2	1	3.00	46.94±0.84	22.55±0.63	58.80±0.51
9	0.5	2	2	3.00	45.72±0.13	21.39±0.12	58.85±0.12
10	1	0.5	0.5	3.03±0.06	45.10±0.54	22.08±0.41	59.83±0.46
11	1	0.5	1	3.00	45.65±0.30	22.01±0.68	58.93±0.08
12	1	0.5	2	3.00	46.26±0.37	22.14±0.67	58.22±1.16
13	1	1	0.5	3.00	48.19±0.33	21.21±0.04	56.06±0.26
14	1	1	1	3.03±0.06	45.96±0.02	21.88±0.65	59.28±0.26
15	1	1	2	3.00	45.64±1.54	21.62±0.12	58.91±1.33
16	1	2	0.5	2.93±0.06	47.07±0.46	22.68±0.84	57.84±0.74
17	1	2	1	3.00	47.69±0.50	23.49±0.08	57.20±0.46
18	1	2	2	2.93±0.06	46.49±0.50	22.79±0.23	57.56±0.41
19	2	0.5	0.5	2.90±0.1	45.15±4.69	22.73±2.31	57.41±0.87
20	2	0.5	1	3.00	47.26±1.18	23.28±1.08	57.62±0.67
21	2	0.5	2	2.97±0.06	46.44±0.20	22.86±0.07	58.43±0.18
22	2	1	0.5	3.00	46.80±0.66	23.20±0.27	58.02±0.48
23	2	1	1	2.97±0.06	47.13±1.11	22.98±0.81	57.20±0.68
24	2	1	2	2.93±0.06	46.31±0.55	22.12±0.46	58.69±0.59
25	2	2	0.5	3.00	45.72±1.26	21.12±0.33	58.66±1.12
26	2	2	1	2.97±0.06	46.77±1.07	23.38±0.50	57.17±0.73
27	2	2	2	2.97±0.06	46.41±0.76	22.38±0.26	58.12±0.54

*Porcentaje calculado con base en el contenido de bagazo de mango, tomando éste como el 100%. La concentración utilizada del polvo para preparar la bebida fue de 0.04g/mL. CMC= Carboximetilcelulosa, XG= goma xantana y SD= dióxido de silicio. L= luminosidad, C= croma y H= matiz.

Optimización de la formulación para elaborar la bebida

De acuerdo con la ecuación obtenida, la combinación de 0.5% CMC, 0.5% XG y 0.5% SD tuvo el menor índice de sedimentación y viscosidad con una $R^2=0.85$. Los valores predichos de viscosidad e índice de sedimentación se muestran en la Tabla 2, así como los valores que se obtuvieron de manera experimental para esta formulación. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre estos valores y el experimental, lo que indica que el modelo utilizado tuvo un buen ajuste y poder de predicción.

Tabla 2. Efecto de las variables independientes sobre los sólidos disueltos (°Brix) y color de la bebida

Parámetro	Valor predicho	Valor experimental	T de student (valor P)
Viscosidad	34.64±2.08 cP	32.84±0.49 cP	0.4053
Índice de sedimentación	23.75±1.83%	23.67±0.58%	0.9459
Los valores predichos y experimentales corresponden a la bebida optimizada 572 (0.5% CMC, 0.5% XG y 0.5% SD), donde se minimizaron los parámetros de viscosidad e índice de sedimentación. El valor de R^2 de la ecuación de optimización estadística para los parámetros fue de 0.85.			

Caracterización de la formulación para elaborar la bebida optimizada

Los resultados del análisis proximal de la bebida optimizada (0.5% CMC, 0.5% XG y 0.5% SD; OB) se muestran en la Tabla 3. La FAO establece una ingesta promedio diaria de fibra dietética de 30 g, basado en una ingesta de 2000 kcal para mujeres y hombres adultos de 19 a 70 años [19]. Se puede destacar que, de acuerdo con el contenido de fibra dietaria total ($40.90 \pm 0.19\%$), la bebida optimizada se puede considerar un concentrado en polvo para preparar una bebida con alto contenido

en fibra, que proporciona como mínimo el 20% del valor diario de referencia [40], es decir, al menos 6 g de fibra dietaria total por porción. Además, es un producto sin azúcar añadida, pues en su formulación se utilizó Stevia como sustituto de azúcar. Además, respecto al contenido de fibra, cabe resaltar que, el ratio de fibra soluble:insoluble fue de 1:1.72, lo cual es importante pues por lo general, en los productos altos en fibra, la proporción de fibra insoluble es mucho mayor.

Tabla 3. Análisis proximal de la bebida optimizada final y

Compuesto	Bebida optimizada (%)
Humedad	8.04±0.34
Cenizas	2.71±0.08
Lípidos	1.55±0.07
Proteínas	4.74±0.04
Carbohidratos de los cuales:	82.94±0.32
Azúcares	30.40±2.27
Fibra de la cual:	40.90±0.19
Soluble	15.03±1.12
Insoluble	25.87±0.54
La formulación correspondiente a la bebida optimizada final fue 0.5% CMC, 0.5% XG, 0.5% SD y 1.6 g/L stevia.	

Un grupo de investigadores desarrolló una bebida láctea de sandía donde el contenido máximo de fibra logrado fue del 5% [31]. En otras investigaciones se reporta el uso del β -glucano como fuente de fibra en bebidas en diferentes proporciones: 0, 2.5 y 5 g [41]; 4 a 8 g [42] y 10.2 g [43]. En relación a residuos de la agroindustria, [44] reportaron que se han desarrollado bebidas de distintas fuentes como granos y frutas, pectina de distintas fuentes, β -glucano y celulosa de raíz de remolacha. [45] desarrollaron dos bebidas a partir de lino y chía, con 8.8 g de fibra.



CONCLUSIONES

En la investigación, se empleó el modelo de superficie de respuesta para observar el efecto de la interacción de las concentraciones de goma xantana (XG), carboximetilcelulosa (CMC) y dióxido de silicio (SD) sobre 4 variables de respuesta (viscosidad, índice de sedimentación, sólidos disueltos y color), así como para la optimización de un concentrado en polvo para preparar una bebida alta en fibra. En general, sólo la viscosidad y el índice de sedimentación fueron parámetros que se vieron afectados significativamente por la variación en los niveles de concentración de los aditivos (XG y CMC). La formulación con mínima viscosidad y mínimo índice de sedimentación fue aquella con 0.5% de cada uno de los aditivos (XG, CMC y SD). Además, el modelo matemático de predicción obtenido fue adecuado, de acuerdo con la concordancia entre los valores predichos y los experimentales, mostrando un buen ajuste.

El concentrado en polvo para preparar una bebida a partir de bagazo de mango tuvo una alta concentración de fibra ($40.90 \pm 0.19\%$), lo que demuestra que el bagazo de mango tiene potencial como ingrediente funcional para el desarrollo de bebidas altas en fibra. Este subproducto de la agroindustria del procesado de mango ha sido muy poco estudiado, por lo que, este trabajo sería uno de los primeros reportes que destacan los beneficios del MB en el desarrollo de productos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante toda esta investigación y al Centro de Investigación de Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional ubicado en Querétaro por permitir el uso de sus laboratorios para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] FAO, "Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas, frutas tropicales," *Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 2005.
- [2] SAGARPA, "Cuarto informe de labores 2015-2016," ago. 2016.
- [3] H. M. Krieger, E. G. Soria, M. T. de la G. Carranza and J. P. G. Farías, "Análisis econométrico de las ventas de pulpa de mango de frozen pulps de México SA de CV," *Pistas Educativas*, vol. 38, no. 124, jul. 2017.
- [4] G. L. Diaz-Gómez y M. P. Bernal-Celemín, *Modelo de gestión de capacidades logísticas en la cadena de suministro agroindustrial frutícola en Bogotá, Cundinamarca*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2016.
- [5] A. Cruz, M. Guamán, M. Castillo, P. Glorio y R. Martínez, "Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito," *Revista Politécnica*, vol. 36, no. 2, sep. 2015.
- [6] M. A. Henrique, H. A. Silvério, W. P. Flauzino Neto, y D. Pasquini, "Valorization of an agro-industrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals," *Journal of Environmental Management*, vol. 121, pp. 202-209, may 2013.
- [7] L. A. Herrera-Cazares et al., "Mango-bagasse functional-confectionery: vehicle for enhancing bioaccessibility and permeability of phenolic compounds," *Food and Function*, vol. 8, no. 11, pp. 3906-3916.
- [8] M. Yolmeh and S. M. Jafari, "Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 413-433.
- [9] M. Homayoonfal, F. Khodaiyan and M. Mousavi, "Modelling and optimising of physicochemical features of walnut-oil beverage emulsions by implementation of response surface methodology: Effect of preparation conditions on emulsion stability," *Food Chemistry*, vol. 174, pp. 649-659, may. 2015.

- [10] O. K. Topuz, N. Gokoğlu, K. Jouppila, y S. Kirjoranta, "Development of Extruded Shrimp-Corn Snack Using Response Surface Methodology," *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 17, no. 2, pp. 333-343, mar. 2017.
- [11] F. Mumtaz, "Effect of additives on quality of amaranth snack: Application of response surface methodology," *Food Science & Technology*, jun. 2015.
- [12] K. Vivek, P. Singh, y R. Sasikumar, "Optimization of Iron Rich Extruded Moringa oleifera Snack Product for Anaemic People Using Response Surface Methodology (RSM)," *Journal Food Processing and Technology*, vol. 7, p. 639, dic. 2016.
- [13] E. C. Loo Kung, A. Tesén Arroyo, y J. Valdez Arana, "Optimization of the general acceptability through affective tests and response surface methodology of a dry cacao powder mixture-based beverage," *Scientia Agropecuaria*, vol. 4, pp. 191-197, ago. 2013.
- [14] G. O. Adegoke, A. O. Oyekunle, y M. O. Afolabi, "Functional biscuits from wheat, soya bean and turmeric (*curcuma longa*): optimization of ingredients levels using response surface methodology," *Research Journal of Food and Nutrition*, vol. 1, no. 1, pp. 13-22, nov. 2017.
- [15] K. A. Kumar, G. K. Sharma, M. A. Khan, y A. D. Semwal "Optimization of Multigrain Premix for High Protein and Dietary Fibre Biscuits Using Response Surface Methodology (RSM)," *Food and Nutrition Sciences*, vol. 6, pp. 747-756, jun. 2015.
- [16] I. Rodríguez Amado, D. Franco, M. Sánchez, C. Zapata, y J. A. Vázquez, "Optimization of antioxidant extraction from Solanum tuberosum potato peel waste by surface response methodology," *Food Chemistry*, vol. 165, pp. 290-299, may 2014.
- [17] NOM-218-SSA1-2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-218-SSA1-2011. Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba. Poder ejecutivo, Secretaría de Salud, feb-2012.
- [18] FAO/OMS, Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los Alimentos, 1995.
- [19] BH. Bourges, E. Casanueva and J. L. Rosado, *Recomendaciones de Ingestión de Nutrientes para la Población Mexicana, Bases Fisiológicas*. México: Médica Panamericana, 2009.
- [20] A. Matalanis and D. J. McClements, "Hydrogel microspheres for encapsulation of lipophilic components: Optimization of fabrication & performance," *Food Hydrocolloids*, vol. 31, no. 1, pp. 15-25, may 2013.
- [21] O. Ozarda, A. B. Demirköz and M. Özdemir, "Sensory characteristics and antioxidant capacity of red raspberry extract as a preservative in fruity flavoured beverages," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 10, pp. 6687-6694, oct. 2015.
- [22] R. Fernández-Vázquez, C. M. Stinco, D. H. Vila, F. J. Heredia, C. Chaya and I. M. Vicario, Internal preference mapping of milk-fruit beverages: Influence of color and appearance on its acceptability, *Food Science and Nutrition*, vol. 6, no. 1, pp. 27-35, oct. 2017.
- [23] X-Rite, Guía para entender la comunicación del color, 2002.
- [24] J. T. Guimarães et al., "Physicochemical changes and microbial inactivation after high-intensity ultrasound processing of prebiotic whey beverage applying different ultrasonic power levels," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 44, pp. 251-260, jun. 2018.
- [25] K. S. Başkan, E. Tütem, E. Akyüz, S. Özen, y R. Apak, "Spectrophotometric total reducing sugars assay based on cupric reduction," *Talanta*, vol. 147, pp. 162-168, ene. 2016.
- [26] F. Abedi, A. M. Sani and H. Karazhiyan, "Effect of some hydrocolloids blend on viscosity and sensory properties of raspberry juice-milk," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 51, no. 9, pp. 2246-2250, sep. 2014.



- [27] H. M. Cho and B. Yoo, "Rheological Characteristics of Cold Thickened Beverages Containing Xanthan Gum-Based Food Thickeners Used for Dysphagia Diets," *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, vol. 115, no. 1, pp. 106-111, ene. 2015.
- [28] G. E. Ibrahim et al., "Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage," *Food Hydrocolloids*, vol. 25, no. 1, pp. 91-97, ene. 2011.
- [29] C. V. Brandenstein, M. Busch Stockfisch and M. Fischer, "Sweetness and other sensory properties of model fruit drinks: does viscosity have an impact?" *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 95, no. 4, pp. 809-818, sep. 2014.
- [30] Z. Vickers et al., "Relationships Among Rheological, Sensory Texture, and Swallowing Pressure Measurements of Hydrocolloid-Thickened Fluids," *Dysphagia*, vol. 30, no. 6, pp. 702-713, dic. 2015.
- [31] D. Saxena, S. K. Chakraborty, L. Sabikhi and D. Singh, "Process optimization for a nutritious low-calorie high-fiber whey-based ready-to-serve watermelon beverage," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 2, pp. 960-967, feb. 2015.
- [32] A. Hajmohammadi, M. K. Pirouzifard, M. Shahedi, y M. Alizadeh, "Enrichment of a fruit-based beverage in dietary fiber using basil seed: Effect of Carboxymethyl cellulose and Gum Tragacanth on stability," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 74, pp. 84-91, 2016.
- [33] S. Aghajanzadeh, A. M. Ziaifar, y M. Kashaninejad, "Influence of thermal treatment, homogenization and xanthan gum on physicochemical properties of watermelon juice: A response surface approach," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 85, pp. 66-74, nov. 2017.
- [34] C. J. M. Cardozo, C. A. J. Castañeda and C. S. S. Ripoll, "Development of mango (*Mangifera indica* L.) energy drinks," *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 70, no. 1, pp. 8115-8121, ene. 2017.
- [35] L. Xu, G. Xu, T. Liu, Y. Chen and H. Gong, "The comparison of rheological properties of aqueous welan gum and xanthan gum solutions," *Carbohydrate Polymers*, vol. 92, no. 1, pp. 516-522, ene. 2013.
- [36] A. Baccouche, M. Ennouri, I. Felfoul and H. Attia, "A physical stability study of whey-based prickly pear beverages," *Food Hydrocolloids*, vol. 33, no. 2, pp. 234-244, dic. 2013.
- [37] Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y alcoholera, Central Motzorongo, Fideicomiso Ingenio Atencingo, y Fideicomiso Ingenio Casasano, "NMX-F-436-SCFI-2011 industria azucarera y alcoholera -determinación de grados Brix en jugos de especies vegetales productoras de azúcar y materiales azucarados-método del refractómetro," Secretaría de Economía, 2011.
- [38] S. Maireva, T. Usai and S. Manhokwe, "The Determination of Adulteration in Orange Based Fruit Juices," *Midl. State University Department of Food Science, Nutrition*, vol. 2, no. 5, may 2013.
- [39] P. Valencia and J. A. Alulema Leiva, "Influencia del color en el comportamiento de consumo de bebidas. Universidad San Francisco de Quito, Quito, 2015.
- [40] FAO, Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables, 1997.
- [41] M. Lyly, K.-H. Liukkonen, M. Salmenkallio-Marttila, L. Karhunen, K. Poutanen, y L. Lähteenmäki, "Fibre in beverages can enhance perceived satiety," *European Journal of Nutrition*, vol. 48, no. 4, pp. 251-258, jun. 2009.
- [42] S. Pentikäinen et al., "Enrichment of biscuits and juice with oat β -glucan enhances postprandial satiety," *Appetite*, vol. 75, pp. 150-156, abr. 2014.
- [43] K. R. Juvonen et al., "Viscosity of oat bran-enriched beverages influences gastrointestinal hormonal responses in healthy humans," *Journal Nutrition*, vol. 139, no. 3, pp. 461-466, mar. 2009.
- [44] S. K. Sharma, S. Bansal, M. Mangal, A. K. Dixit, R. K. Gupta and A. K. Mangal, "Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional, and Novel Fiber: A Review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 56, no. 10, pp. 1647-1661, jul. 2016.

[45] V. Vuksan *et al.*, "Comparison of flax (*Linum usitatissimum*) and Salba-chia (*Salvia hispanica* L.) seeds on postprandial glycemia and satiety in healthy individuals: a randomized, controlled, crossover study," *European Journal of Clinical Nutrition*, vol. 71, no. 2, pp. 234-238, feb. 2017.