

Diseño experimental de mezclas como herramienta para la optimización de cremolácteos de mango

Experimental mixture designs as a tool for mango dairy cream optimization

Guillermo Salamanca Grosso¹; Laura M. Reyes Méndez²; Mónica P. Osorio Tangarife³; Nelson Rodríguez Arias⁴

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.166>

Recibido: 07-11-2014 Aceptado: 15-09-2015

RESUMEN

El diseño de mezclas para la elaboración de nuevos productos, es una de las áreas que ha venido ganando interés entre los productores de alimentos, dado que se pueden realizar combinaciones de productos para buscar nuevas características funcionales y optimizar el uso de materias primas. Se ilustra la herramienta para la optimización de cremogénados de mango y el desarrollo de derivados lácteos de yogurt a través de valoración sensorial y diseño experimental de mezclas. Además, se evaluaron las condiciones higiénico-sanitarias necesarias para la elaboración de cremogénados de mango y la implementación de un proceso de reducción de tamaño de partícula por tamizado de la pulpa. Se planteó un diseño de mezclas para la obtención de cremolácteos, usando yogurt como vehículo y sacarosa como edulcorante. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de los frutos en su estado óptimo de madurez y se formularon mezclas de base láctea y cremogénado de fruta, valorando el efecto de los componentes en las formulaciones con relación a la acidez, pH, propiedades cromáticas y atributos sensoriales. Los cremolácteos con propiedades correspondieron a formulaciones con 15 g de azúcar, 20 g de cremogénado y 65 g de base láctea. El pH óptimo es de 3,97 y la acidez de 98,8 meq kg⁻¹, los sólidos solubles oscilan entre 17,0 y 19,6 como máximo. El aporte de la investigación, reside en la valoración de la metodología de los diseños para mezclas ternarias que puede ser a través de análisis sensorial o fisicoquímico.

Palabras clave: cremogénados; mango; propiedades fisicoquímicas; procesado; lácteos.

ABSTRACT

The design of mixtures for the development of new products, is one of the areas that has been gaining interest among food producers, given that you can do combinations of products looking for new functional characteristics and optimize the use of raw materials. This paper illustrates the design and optimization of dairy food using mango and yogurt, through sensory evaluation and experimental design of mixtures. We evaluated the necessary Sanitary and Hygienic conditions for the elaboration of new products and the implementation of a process for reduction of fruit particle size by sieving the pulp. There was a design of mixtures using mango, sugar cane as a sweetener and yogurt as a vehicle. We evaluated the physicochemical properties of the fruit at its optimal state of maturity and formulated mixtures for yogurt, fruit, valuing the effect of the components in the final formulations respect to acidity, pH, chromatically properties and sensory attributes. Best properties observed were with 15 g of sugar, 20 g of puree and 65 g of yogurt. Optimum pH were 3,97; total acidity of 98,8 meq kg⁻¹ and soluble solids between 17,0 and 19,6 as maximum. The contribution lies in the valuation of the methodology of the designs for ternary mixtures that can be through sensory or physicochemical analysis.

Keywords: Process; Physicochemical properties; experimental design; puree; Mango; dairy cream.

¹ Colombiano. Ph.D. en Tecnología de Alimentos. Grupo de Investigaciones Mellitopolinológicas y Propiedades Fisicoquímicas de Alimentos. Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima – Colombia. Correo electrónico: salamancagrosso@gmail.com

² Colombiana. Universidad del Tolima. Departamento de Química, Ibagué, Tolima - Colombiana Correo electrónico: lauramreyes@gmail.com

³ Colombiana. Universidad del Tolima. Departamento de Matemáticas y Estadística. Facultad de Ciencias. Correo electrónico: mposorio@ut.edu.co

⁴ Colombiana. Universidad del Tolima. Departamento de Matemáticas y Estadística. Facultad de Ciencias. Correo electrónico: nrodriguez@ut.edu.co

INTRODUCCIÓN

En el diseño de productos y procesos agroalimentarios, es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño robusto y experimental para la valoración y optimización de mezclas de varios componentes o ingredientes (Kumar, *et al.*, 2010). Esta tarea corresponde, fundamentalmente, a los departamentos de Investigación y Desarrollo (I+D), donde se toman decisiones de carácter interdisciplinar, ajustadas a las políticas de las compañías procesadoras y generadoras de nuevos productos. Para la elaboración de jugos, néctares, conservas, compotas, mermeladas, cremogenados o yogures, se requiere una mezcla óptima de ingredientes que permitan generar las mejores características organolépticas, físicas, reológicas o químicas, aun más económica, cuando alguno de los ingredientes es muy costoso (Braco y Gaspareto, 2003; Álvarez, 2006). En el diseño de mezclas, los factores que intervienen son las proporciones de los componentes de la mezcla, y las respuestas a optimizar son función de esas proporciones con respecto al total y no dependen de la cantidad de cada componente.

Una característica especial de los diseños de mezclas es que la cantidad total de la mezcla normalmente se fija en el diseño de experimentos, y la de cada componente es proporcional a la cantidad total, además, la proporción no puede variar independientemente como en los diseños factoriales, porque ellas están restringidas a que la suma sea constante (1 o 100%). La forma como se analiza este tipo de diseño es a través de una superficie de respuesta, siendo la que permite encontrar la mezcla óptima.

Diversas investigaciones se han orientado al estudio de mezclas con restricciones y variables de proceso (Nikzade, *et al.*, 2012). Los trabajos preliminares sobre este tema, fueron realizados en principio por Thompson y Myers, (1968); Snee (1971); Cornell (1973, 1983, 1986). En la industria de alimentos se aplica desde la década de los setenta, el primer trabajo fue reportado por Henika y Palmer (1976) en mezcla de cereales; Huor, *et al.*, (1981) en pruebas de valoración sensorial, optimizando las proporciones de melón, piña y naranja en un ponche de frutas. Jhonson y Zabick (1981), desarrollaron un diseño de mezclas para construir una superficie de respuesta para estudiar las interacciones entre proteínas de la torta tipo ángel. Khuri y Cornell (1987), reportan aplicaciones para el diseño de edulcorantes donde se involucran variables de proceso para el diseño de un paté, en el cual intervienen las temperaturas y los tiempos de cocción. En la última década, las aplicaciones en la industria de alimentos han crecido significativamente, a tal punto que en casi todas las revistas técnicas en alimentos se reportan aplicaciones con diseño de mezclas, (Kumar, *et al.*, 2010; Kpodo *et*

al., 2013). En los experimentos con mezclas, los factores son sus componentes o ingredientes, y por lo tanto, sus niveles no son independientes (Mali, *et al.*, 2010; Álvarez 2006; Depypere, *et al.*, 2003).

La producción y consumo de mango en Colombia ha permitido posicionar al departamento del Tolima como uno de los principales productores a nivel nacional. La demanda de bebidas refrescantes ha generado un mercado importante. Se distinguen los néctares y jugos de mango con el 27% de participación en el mercado (Salamanca, *et al.*, 2007), gran parte de esta producción se hace sobre variedades criollas. Los cremogenados de fruta son productos generados por la transformación de frutas frescas, susceptibles de fermentación, pero no fermentadas, las cuales se obtienen por molturación, tamizado o ultrahomogenización de la parte comestible de frutas, sin eliminar la fracción acuosa que constituye el zumo. El uso de cremogenados como base para la elaboración de los productos relacionados presenta ventajas definidas respecto a las demandas de los consumidores, quienes prefieren alimentos frescos y con bajo nivel de procesado. Desde el punto de vista tecnológico, se logra el mantenimiento de las características nutricionales y sensoriales iniciales, reduciendo costos y volumen de almacenamiento en productos frescos, contribuyendo así a la disminución de pérdidas en poscosecha, (Salamanca, *et al.*, 2006, 2007; Waldrop y Roos, 2014). En este trabajo se presentan los resultados asociados al diseño y optimización de cremogenados de mango (*Mangifera indica* L.) a través de sistemas de diseño experimental de mezclas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de mango: Los frutos de mango Hilacha (*Mangifera indica*. var. Magdalena river), se recolectaron en la localidad de Dindalito (Espinal, Tolima-Colombia: 4°07'59.17"N y 74°56'15.72"O), con preclasificación al cultivar. Los frutos de mango recolectados son de color amarillo, tamaño mediano y tienen un peso promedio de 160-250 g. La selección final implicó operaciones de selección, lavado y desinfección. Los frutos usados en el proceso se agruparon bajo el criterio de estado óptimo de madurez para consumo en fresco, seleccionados según el aspecto, el color, el tamaño y el grado de madurez.

Yogurt: El producto usado como base láctea en este trabajo se adquirió en un supermercado de cadena, que ha sido elaborado bajo estándares de calidad (Yogurt Tapioca™), libre de azúcar y aditivos.

Caracterizaciones: A los frutos seleccionados se les determinó en el laboratorio el contenido de sólidos

solubles (°Brix), su acidez total y pH como criterio de madurez. Además, se realizaron pruebas físicas para los rendimientos en pulpa y peso. Se aplicaron métodos estandarizados, según las directrices del Manual de métodos analíticos para alimentos de la AOAC (1999), para los parámetros de pH, acidez total (me/kg), conductividad eléctrica (mS/cm). La actividad de agua, se determinó en unidad psicrométrica termoelectrónica Decagon CX2™ (DecagonDevices, Inc., Pullman, WA, USA). La viscosidad fue evaluada en un viscosímetro tipo Brookfield™ DV-II-Pro, haciendo uso de los sensores de medición LV1, LV2, LV3 y LV4, acoplado al software Reocall 42.4 Rheometer 1 a 40, 70, 140, 180 y 200 rpm., a partir de las curvas se estimó la viscosidad y dilucidaron sus propiedades de plasticidad. Las propiedades cromáticas (CIELab), fueron evaluadas a través de un sistema de análisis de imágenes, haciendo uso del software Munsell™ 7.0.1 2010, operado con iluminante D65 y observador 10°. Las variaciones de los parámetros cromáticos de los cremolácteos elaborados (ΔE) fueron determinados conforme a la relación que se indica; ΔL , Δa^* y Δb^* corresponden a las variaciones de los parámetros respecto de la pulpa de mango.

$$\Delta E_{a,b} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Valoraciones sensoriales: Las distintas formulaciones de cremolácteos de yogurt, mango edulcorados con sacarosa fueron evaluados, usando una escala hedónica para los parámetros de color, viscosidad, aroma, palatabilidad, dulzor y aceptación global, siguiendo criterios de análisis cuantitativo descriptivo (QDA) con la participación de un panel de once jueces previamente entrenados. La escala descriptiva usada fue: Nulo (0), deficiente (1), pobre (2), bueno (3), notable (4) y excelente (5) cuando los atributos sensoriales fueron óptimos.

Procesado: Las operaciones básicas para la obtención del cremogenado de fruta se completa con el deshuesado, trituración, inactivación térmica y tamizado, a través de una malla de 0,5 mm. A continuación el proceso se completó con una homogenización y desaireación, para finalmente realizar una pasteurización por 45 segundos a 95 ± 3.0 °C. El producto se dejó reposar y se enfrió a 25°C, luego se empacó en bolsas al vacío y dispuso en cadena de frío para su conservación. En la Figura 1, se ilustra el proceso para la obtención de cremogenado de mango, en donde intervienen las condiciones indicadas.

Diseño experimental: Los rangos establecidos para los componentes de las mezclas (codificados en composición y fracción de 0 a 1, según rango alto o bajo) se fijaron en % como A: cremogenado de mango (15-30), B: base láctea de yogurt (60-75) y C: sacarosa refinada (10-25). Se usó

el diseño del tipo simplex-lattice con 10 combinaciones entre los factores. Los rangos se fijaron tomando como referencia trabajos previos, en los cuales se realizaron procesos de optimización, buscando mantener las propiedades sensoriales de la fruta y la base láctea de yogurt. Además, Se evaluaron 10 muestras cada una con diferentes composiciones correspondientes al diseño.

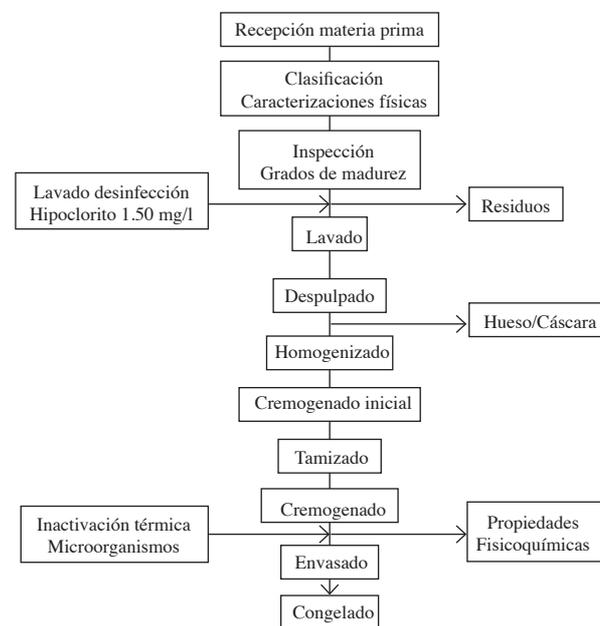


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de cremogenados de mango hilacha.

Fuente: Autores.

Mezclas: Las mezclas de los derivados lácteos se realizaron en cada una de las proporciones indicadas a una temperatura de 25°C. Se efectuaron operaciones de pesada y mezcla íntima para los componentes yogurt, azúcar, y finalmente cremogenado de mango usando una mezcladora Oster Hand Mixer portátil de 5 velocidades, 50-60Hz. Cada mezcla se mantuvo a 6.0°C hasta el momento de la evaluación sensorial, que se hizo a 15°C, luego de servido el producto. Las caracterizaciones fisicoquímicas se realizaron en muestras reducidas que se conservaron a 4.0 °C.

Evaluaciones estadísticas: En la evaluación final de los parámetros fisicoquímicos y sensoriales generados en cada una de las formulaciones, se evaluó el efecto de cada uno de los componentes sobre las propiedades finales. Los promedios y desviaciones se estimaron a través del software Desing-Expert™ 7.0. Adicionalmente, se hicieron consideraciones bajo los criterios de superficie de respuesta de los diseños experimentales de mezclas de modelos cuadráticos, conforme a la relación que se indica más abajo y como criterio de optimización. En la proyección de las superficies de respuesta y estimación de la variabilidad de los resultados, se usó el paquete Statistica 10,0™ conforme

a los criterios de la literatura (Bouffier, *et al.*, 2014; Nikzade, *et al.*, 2012; Mathews, 2005; Álvarez, *et al.*, 2006).

$$y = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variedad de mango hilacha usada en el estudio presentó un color amarillo con un peso entre 0,177 a 0,202 Kg con un volumen promedio de 220 mL. El pH del producto fue de $4,46 \pm 0,47$ y una acidez en su estado óptimo de consumo de 0,320 g por 100g como ácido málico. Los sólidos solubles totales alcanzaron los $14,0 \pm 0,12$ g/100g de pulpa. El color (CIELab) para la luminancia fue de $80 \pm 3,12$, los valores de cromaticidad rojo/verde y amarillo/azul (a^* , b^*) fueron del orden de $-9,50 \pm 1,76$ y $80,7 \pm 1,20$, respectivamente. Los valores de la cromaticidad fueron $81,3 \pm 1,44$, pero en la elaboración de los cremogenados estos valores cambian con la adición de la base láctea de yogurt. En la preparación de los cremogenados de mango se observó un rendimiento del 67,2 g por 100 g de fruta. Los principales residuos son cáscaras y hueso. La pulpa presenta una ligera reducción del pH a $4,24 \pm 0,12$; la acidez fue del orden de $77,3 \pm 0,20$ meq/Kg (0,52 por 100 g, como ácido málico y 15,4°Brix. La actividad de agua (aw) fue de 0,901. La viscosidad del producto a las condiciones establecidas en la metodología fueron del orden de $3793 \pm 1,60$ (40), $2721 \pm 5,60$ (70), $1778 \pm 3,50$ (140), $1405 \pm 2,10$ (180) y $1280 \pm 2,10$ (200) cP.

Las propiedades sensoriales del producto en términos de color, aroma y sabor se mantienen prácticamente invariables respecto de la fruta sin procesar. En las formulaciones del diseño de mezclas, las propiedades fisicoquímicas varían conforme a la proporción de los componentes mayoritarios. El análisis de varianza del pH no presentó diferencias estadísticas significativas al 95% (Pv 0,8857) respecto del componente mango, yogurt y sacarosa (Pv 0,773) y (Pv 0,593), respectivamente. El parámetro varía entre $3,88 \pm 0,10$ y $4,06 \pm 0,21$, a 25°C. En este mismo orden, las diferencias entre los promedios de cada uno de las formulaciones para la relación mango-acidez presentó diferencias significativas (Pv < 0,005), para sacarosa-acidez (Pv 0,004) y yogurt-acidez (Pv 0,471). La acidez total osciló entre $59,8 \pm 1,14$ y $92,0 \pm 1,42$ meq/kg de cremogenado. En la Tabla 1, se relacionan los valores medios observados para el pH y la acidez de las formulaciones evaluadas y en la Figura 2, se relacionan las superficies de respuesta de las variables de pH y acidez en relación a los componentes de los cremolácteos a base de mango. La gravedad específica a 20 °C de estos cremolácteos osciló entre 1,442 y 1,445. El pH de los productos elaborados como formulaciones es dependiente de la base láctea y del cremogenado utilizado.

Tabla 1:

Valores de los promedios y desviación estándar por efecto de los componentes sobre la acidez y el pH de cremolácteos de mango

Componentes			pH (\pm ds)	Acidez (\pm ds)
A: Mango	B: Yogurt	C: Azúcar	25°C	meq/kg
20,0	65,0	15,0	3,88 (0,10)	77,8 (1,40)
30,0	60,0	10,0	3,99 (0,12)	74,0 (0,78)
15,0	67,5	17,5	4,06 (0,21)	67,7 (1,21)
15,0	75,0	10,0	4,00 (0,17)	76,5 (0,27)
15,0	60,0	25,0	3,97 (0,14)	59,8 (1,14)
22,5	67,5	10,0	3,99 (0,16)	76,2 (1,23)
22,5	60,0	17,5	3,97 (0,16)	87,0 (1,90)
25,0	62,5	12,5	3,99 (0,14)	92,0 (1,42)
0,18	70,0	12,5	4,01 (0,15)	74,0 (1,13)
17,5	62,5	20,0	3,97 (0,16)	70,5 (1,36)

Fuente: Autores.

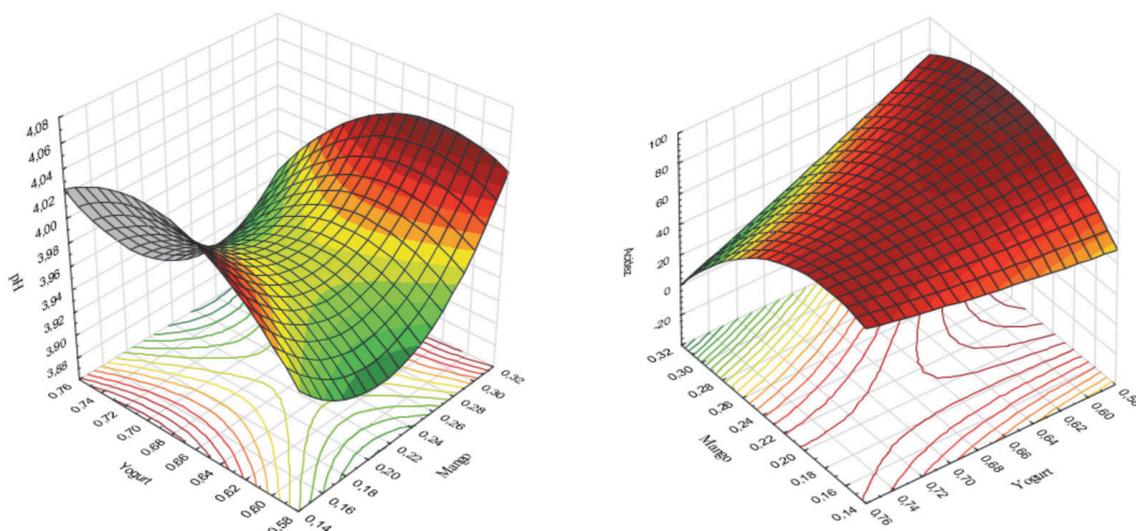


Figura 2. Superficies de respuesta de las variables de pH y acidez en relación a los componentes de los cremolácteos a base de mango.

Fuente: Autores.

Las interacciones entre los niveles de los componentes fue significativa. Este comportamiento se observó en el caso de la acidez (Tabla 2). Las propiedades cromáticas de los alimentos se consolidaron como parámetros de calidad, y con frecuencia son considerados en el estudio y desarrollo de nuevos productos. La luminancia de las formulaciones tuvo una variación entre $60,0 \pm 0,12$ y $61,9 \pm 0,12$, y los parámetros de cromaticidad rojo/verde

entre $(-19,3 \pm 2,21)$ y $(-16,3 \pm 1,14)$; la cromaticidad amarillo/azul por su parte varió entre $41,6 \pm 3,21$ y $54,2 \pm 1,17$.

La proporción de cremogenado incrementó los tonos de amarillo y por ello se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los promedios de las formulaciones respecto de las adiciones de mango ($P_v < 0,005$).

Tabla 2:

Coefficientes asociados a los parámetros de pH y acidez en relación al efecto de los componentes usados en las formulaciones.

Coeficientes	pH (25°C)			Acidez total (meq/kg)		
	A (x_i)-B (y_i)	A (x_i)-C (y_i)	B (x_i)-C (y_i)	A (x_i)-B (y_i)	A (x_i)-C (y_i)	B (x_i)-C (y_i)
β_0	1,076	4,108	8,837	-364,4	131,3	-411,1
$\beta_1 x_i$	-1,008	-2,588	-12,04	3660	-202,6	882,2
$\beta_2 y_i$	9,047	2,984	-16,53	248,9	-742,6	3753
$\beta_3 x_i^2$	8,772	7,317	7,317	-3707	-339,7	-339,8
$\beta_4 x_i y_i$	-4,561	-7,470	22,10	-3120	3614	-4293
$\beta_5 y_i^2$	-0,616	-6,015	8,772	246,9	246,9	-3707

A: Mango. B: Yogurt C: Sacarosa. x_i y y_i : Componentes

Fuente: Autores.

En la Tabla 3, se recogen los valores de los parámetros de color, y en la Figura 3, se muestran los perfiles de las relaciones de color y cromaticidad amarillo/azul en

función de las proporciones de cremogenado de mango, y la cromaticidad rojo/verde y amarillo/azul en las formulaciones de base láctea enriquecidas con mango.

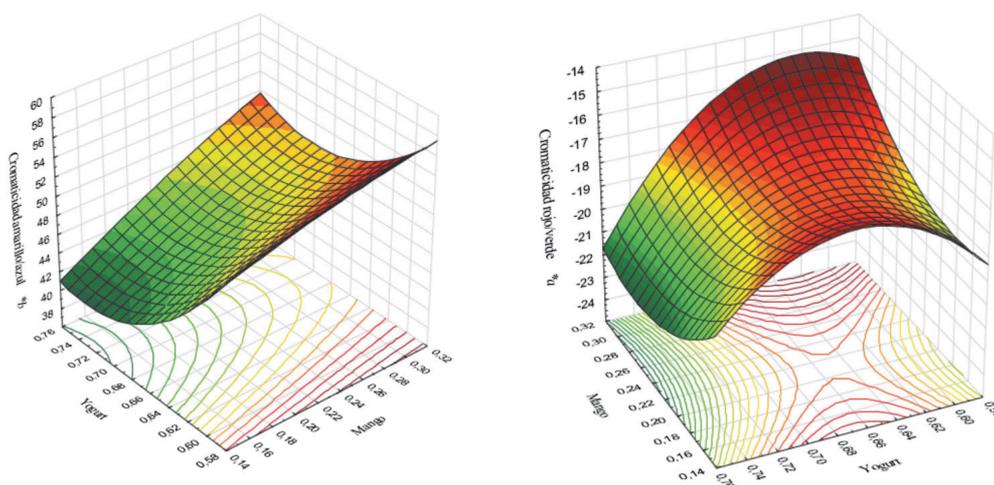


Figura 3. Superficies de respuesta de los parámetros de cromaticidad amarillo/azul y rojo/verde en función de la base láctea y el cremogenado de fruta.

Fuente: Autores.

Tabla 3:

Valores de los promedios y desviación estándar por efecto de los componentes sobre las propiedades cromáticas de cremolácteos de mango

Componentes			Cromaticidad			DE
			L(\pm ds)	a*(\pm ds)	b*(\pm ds)	
Fruta de mango hilacha: Pulpa			80,0 (0,12)	-9,5 (0,22)	80,7(3,70)	-
A: Mango	B: Yogurt	C: Azúcar	L (\pm ds)	a* (\pm ds)	b* (\pm ds)	Δ E
0,200	0,650	0,150	60,8 (0,14)	-18,4 (1,10)	49,0 (2,54)	38,1
0,300	0,600	0,100	60,1 (0,13)	-16,3(1,21)	55,1 (2,47)	33,2
0,150	0,675	0,175	60,4 (0,10)	-16,3 (1,14)	44,0 (2,64)	42,2
0,150	0,750	0,100	61,8 (0,11)	-19,3 (2,21)	41,6 (3,21)	44,2
0,150	0,600	0,250	60,0 (0,12)	-18,6 (2,01)	50,6 (2,22)	37,3
0,225	0,675	0,100	60,1 (0,12)	-17,0 (2,21)	47,8 (3,07)	39,2
0,225	0,600	0,175	60,1 (0,11)	-17,9(1,10)	54,2 (1,17)	34,2
0,250	0,625	0,125	60,2 (0,09)	-17,7 (1,23)	48,6 (2,27)	38,6
0,175	0,700	0,125	61,9 (0,12)	-18,4(2,08)	41,1 (1,67)	44,4
0,175	0,625	0,200	60,0 (0,12)	-17,4(1,16)	46,4 (2,22)	40,5

Δ E= Cambio de color respecto de la fruta no procesada.

Fuente: Autores.

Las evaluaciones hedónicas de los atributos sensoriales de color y palatabilidad se ajustan a modelo cuadrático muy significativas (Pv 0,0149) y (Pv 0,0128) respectivamente. Los parámetros de aroma y viscosidad se ajustan a modelos lineales, (Pv 0,170). Los panelistas perciben el efecto del cremogenado en cada una de las formulaciones. La base láctea se comporta como un sustrato apropiado que retiene los componentes de la fruta, que se hacen más volátiles conforme aumenta la fracción de sacarosa en los cremolácteos, como se deduce de los coeficientes de $B(x_i)-C(y_i)$ en el término $\beta_1 x_i$ (Tabla 4). El color, por su parte, se deriva de las adiciones de fruta, y la tonalidad final está influenciada por la cantidad de sacarosa adicionada. La palatabilidad

es percibida según las proporciones de yogurt-mango y mango-azúcar, y la viscosidad es percibida como una función lineal de los componentes. La Figura 4, ilustra las superficies de respuesta para el aroma, color, palatabilidad y viscosidad de los cremolácteos elaborados con mango. Los valores óptimos de las formulaciones analizadas y que son percibidas con atributos sensoriales deseables, corresponden de la siguiente manera: 20 g de cremogenado de mango, 65 g de base de yogurt y 15 g de sacarosa por 100 g de cremolácteo. El pH óptimo observado en estos productos fue de 3,97 y su acidez de 98,8 meq kg⁻¹, los sólidos solubles del orden de 17,0 a 19,6 como máximo.

Tabla 4:

Coefficientes de los modelos de superficie de respuesta de los atributos sensoriales de cremolácteos a base de mango y base de yogurt

Coeficientes	Aroma			Color		
	A (x _i)-B (y _i)	A (x _i)-C (y _i)	B (x _i),C (y _i)	A (x _i)-B (y _i)	A (x _i)-A (x _i)-B (y _i)	B (x _i)-C (y _i)
β_0	6,231	-11,05	-122,1	3,824	-5,828	-77,80
$\beta_1 x_i$	103,7	120,9	343,2	68,81	78,47	222,3
$\beta_2 y_i$	-51,85	-17,28	360,5	-28,95	-9,652	231,9
$\beta_3 x_i^2$	-232,0	-232,0	-232,0	-150,3	-150,4	-150,4
$\beta_4 x_i y_i$	34,56	34,56	-498,7	19,30	19,30	-320,1
$\beta_5 y_i^2$	34,56	34,56	-232,1	19,30	19,30	-150,4

Coeficientes	Palatabilidad			Viscosidad		
	A (x _i)-B (y _i)	A (x _i)-C (y _i)	B (x _i)-C (y _i)	A (x _i)-B (y _i)	A (x _i)-C (y _i)	B (x _i)-C (y _i)
β_0	-63,95	-7,612	2,892	-4,033	-1,811	20,41
$\beta_1 x_i$	106,8	50,50	29,45	24,44	22,22	-22,22
$\beta_2 y_i$	169,0	56,34	-26,90	2,222	2,222	-24,44
$\beta_3 x_i^2$	-39,9	-39,95	-39,95	-	-	-
$\beta_4 x_i y_i$	-112,7	-112,7	32,77	-	-	-
$\beta_5 y_i^2$	-112,7	-112,7	-39,95	-	-	-

Fuente: Autores

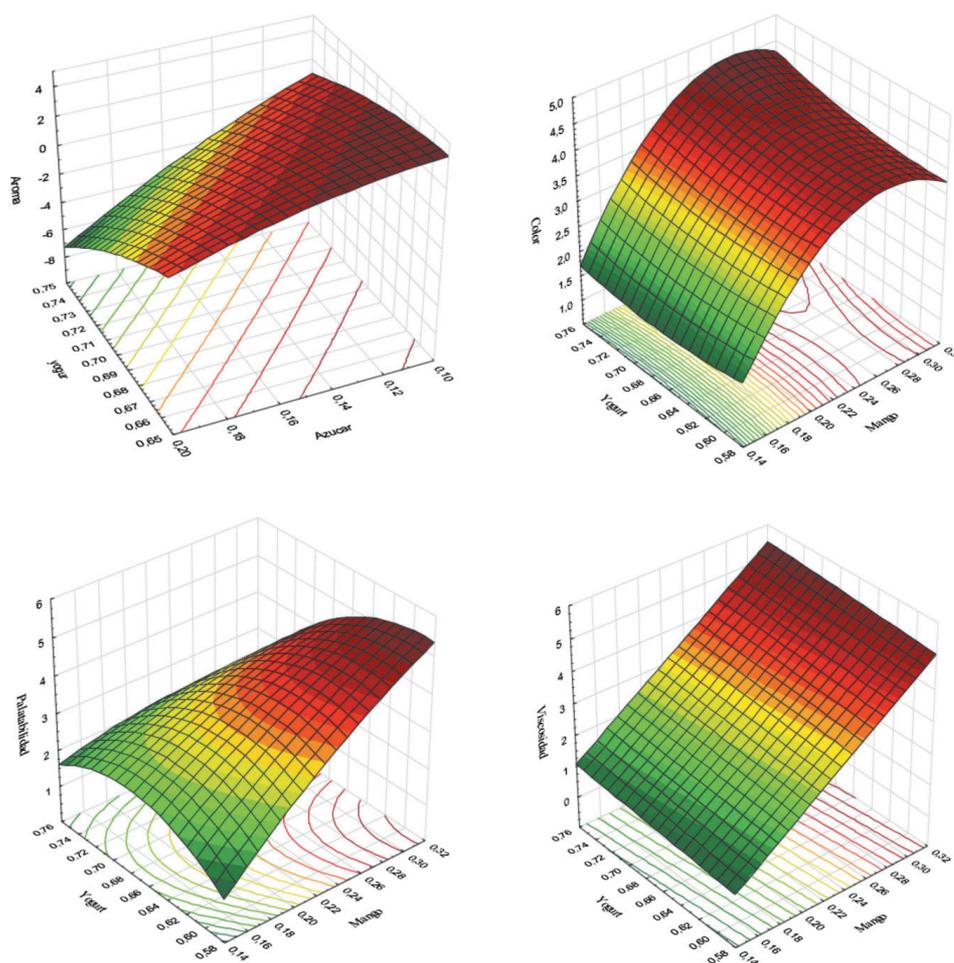


Figura 4. Representación de los modelos de superficie y proyección de las superficies de contorno de las propiedades sensoriales de aroma, color palatabilidad y viscosidad.

Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió implementar un sistema de procesado para la obtención de cremogenados de mango, usando frutas al límite de su estado de madurez fisiológica, con buena aptitud para el procesado, hasta lograr una pulpa refinada y estabilizada térmicamente. Se ha planteado el uso e integración de matrices alimentarias convencionales en el desarrollo y optimización de nuevos productos, tomando como referencia el diseño experimental de mezclas, que permitan la optimización de formulaciones a través de valoraciones fisicoquímicas y atributos sensoriales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al grupo interdisciplinario de investigaciones Mellitopalinológicas y propiedades fisicoquímicas de alimentos de la Universidad del Tolima, por la acogida e iniciativas para el desarrollo de la investigación. A los evaluadores del artículo

y colaboradores de la Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, por las observaciones, sugerencias y recomendaciones al documento final durante el proceso de arbitraje.

REFERENCIAS

Álvarez, L. R. (2006). *Superficies de respuesta en la optimización de procesos de interés agroalimentario. Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario.* Universidad del Tolima. CCI. Investigaciones.

AOAC International. (1999). *Official Methods of Analysis*, 16th edition. Maryland. USA.

Bouffier, A., Arnold, J., Schuttler, B. (2014). *A mine alternative to D-Optimal Desing for the linear model.* PLOS ONE, (10)e110234,1-13.

Braco, I. G., Gasparetto, C. A. (2003). *Aplicação da*

- metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e censura. Ciência e Tecnologia de Alimentos 23. supl.*
- Cornell, J. A. (1973). Experiments with Mistures: A review. *Technometrics*.15,437-455.
- Cornell, J. A. (1983). *Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixture*. New York: John Wiley.
- Cornell, J. A. (1986). (A Comparison Between Two Ten-Point Designs for Studing Three Components Mixtures System). *Journal of Quality Technology*. 18,1-15.
- Depypere, F., Verbeken, D., Thas, O., Dewettinck, K. (2003). (Mixture design approach on the dynamic rheological and uniaxial compression behaviour of milk desserts). *Food Hydrocolloids*, 17(3), 311-320.
- Henika, R. G. y Palmer, G. M. (1976). Response Surface Methodology: Revisited. *Cereal Food Science*. (21),432-445.
- Huor, S. S., Murphy, E. M., Reed, C. y Cornell, J. A. (1981). (Formulation and Sensorial Evaluations of a Fruit Punch Containing Watermelon Citrullus lanatus Juice). *Journal of Food Science*. (45),809-813.
- Jhonson, T. M., Zabik, M. E. (1981). Response Surface Methodology for Analysis of Protein Interaction in Angel Food Cakes. *Journal of Food Science*. (46),1226-1230.
- Kpodo, F. M., Afoakwa, E. O., Amoa, B. B., Saalia, F. K., Budu, A. S. (2013). (Application of multiple component constraint mixture desing for studying the effect of ingredient variations on the chemical composition and physicol-chemical properties of soy-penaut-cowmilk). *International Food Research Journal*. 20(2),811-818.
- Kumar, S. B., Ravi, R., Saraswathi, G. (2010). (Optimization of fruit punch using mixture design). *Journal of Food Science*. (75)1. S1-S7.
- Khuri, A., Cornell, J. A. (1987). *Response Surfaces: Design and Analysis*. New York: Marcel Dekker. Inc.
- Mali, S., Debiagi, F., Grossmann, M. V., & Yamashita, F. (2010). Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: A mixture design approach. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 353-359.
- Mathews, P. (2005). *Desing of experiments with Minitab*. ASQ Quality Press. Milwaukee, Wisconsin. USA. American Society for Quality, Quality Press.
- Nikzade, V., Tehrani, M. M., Saadatmand-Tarzjan, M. (2012). (Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach). *Food Hydrocolloids*, 28(2), 344-352.
- Salamanca, G. G., Forero, L. F., García, J. (2007). *Algunas investigaciones relevantes sobre mango*. Memorias IX Congreso Venezolano de Fruticultura. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Estado Lara.
- Snee, R. D. (1971). (Design and Analysis of Mixtures Experiments). *Journal of Quality Technology*. 3,159-169.
- Thompson, W. O. y Miers R. H. (1968). Response Surface for Experiments with Mixtures. *Technometrics*, 10, 739-755.
- Waldrop, M., Ross, C. (2014). (Sweetener blend optimization by using mixture desing methodology and the electronic nose). *Journal of Food Science*. 79S1,782-S1794.