

ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES DE LA MEZCLA DE PULPA DE BANANO (*Musa paradisiaca* L.) PARA SOMETER A SECADO POR ASPERSIÓN

ESTABLISHING OF THE CONDITIONS OF THE BLEND OF PULP WITH BANANA
(*Musa paradisiaca* L.) TO SUBMIT SPRAY DRYNG

Beatriz E. LOPEZ M.^{1*}, Luz M. CARVAJAL de P.², Leonidas de J. MILLAN C.²

Recibido: Noviembre 5 de 2008 Aceptado: Agosto 13 de 2009

RESUMEN

El secado por aspersión es uno de los métodos más empleados para deshidratar alimentos y prolongar su vida útil. En este trabajo se pretende determinar las cantidades óptimas de maltodextrina y goma acacia a utilizar para maximizar °Brix y minimizar la viscosidad en pulpa de banano para su posterior secado por aspersión. La maltodextrina tiene un efecto significativo en los °Brix y la viscosidad, pero a esta última también la afecta la interacción entre maltodextrina y goma acacia. Es necesario encontrar un equilibrio entre el máximo de °Brix y una mínima viscosidad, pues una viscosidad baja permite una mejor fluidez de la mezcla en el sistema de atomización (disco o difusor), y una alta concentración de sólidos totales incrementa el rendimiento del producto final. La combinación que genera la mejor respuesta es 39,95 g maltodextrina con 3,29 g de goma arábiga. Con esta combinación de tratamientos se encuentra el punto donde los °Brix son máximos y la viscosidad es mínima, equivalentes a 46,44 °Brix y 634,59 cP, respectivamente.

Palabras clave: maltodextrina, goma acacia, pulpa de banano, secado por aspersión.

ABSTRACT

Spray-drying is one of the methods used to dehydrate foods and prolong their life. This study aims to determine the optimum amounts of maltodextrin and rubber acacia to maximize °Brix and minimize the viscosity in banana pulp for later spray drying. The maltodextrin has a significant effect for both, the content °Brix as viscosity, but the latter also affects the interaction between maltodextrin and rubber acacia. It is necessary to find a balance between the maximum °Brix and minimum viscosity for the drying process. Low viscosity allows a better flow of the mixture in the spray system (disk or diffusion) and a high concentration of solids totals increases the performance of the final product. The combination of treatments generating the better answer is above 39.95 g maltodextrin with 3.29 g rubber acacia. This combination of treatments is the point where °Brix are maximum and viscosity is minimum, finding a value of 46.44 ° Brix and 634.59 cP respectively.

Keywords: maltodextrin, gum acacia, banana pulp, spray-dried.

1 Escuela de Nutrición y Dietética. Universidad de Antioquia. Carrera. 75 No. 65-87. Medellín, Colombia.

2 Departamento de Alimentos. Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. Calle 67 No. 53-108. Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: beatriz.lopez@siu.udea.edu.co

INTRODUCCIÓN

El secado por aspersión es uno de los métodos más empleados para deshidratar alimentos y prolongar su vida útil (1). Por ser uno de los más económicos, es también empleado para microencapsular ingredientes alimenticios y compuestos nutricionales (2); sin embargo, se ha limitado su uso debido a la degradación que presentan los micronutrientes al ser sometidos a altas temperaturas en el secador (3).

El proceso consiste en convertir un fluido “mezcla líquida”, que puede ser una solución o una suspensión, en una sustancia sólida. Este fluido pasa por tuberías hasta llegar a un atomizador, el cual despliega partículas o gotas de tamaño pequeño, que entran en contacto directo con el aire caliente de la cámara y pierden su contenido de agua de manera inmediata pasando a convertirse en material sólido (1, 4-5).

Las variables viscosidad y °Brix son requerimientos de la preparación de la mezcla a secar en el equipo, ya que una etapa importante en el secado por atomización es la definición de las condiciones de la mezcla, pues éstas afectarán la eficiencia del proceso de secado y las características del producto final. Una adecuada viscosidad de la solución y el alto contenido de sólidos totales son factores críticos para el rendimiento en el proceso de secado. Una baja viscosidad permite una mejor fluidez de la mezcla en el sistema de atomización (disco o difusor), y una alta concentración de sólidos totales incrementa el rendimiento del producto final. Cuando se trata de secar pulpa de fruta, la cantidad de sólidos totales en ella no es muy alta; por consiguiente, su rendimiento no es el adecuado para este proceso. Consecuentemente, se deben aumentar los sólidos totales para obtener un buen rendimiento en el producto seco, cuidando la viscosidad de la mezcla que será sometida al secado por aspersión. Los materiales a emplear para obtener la mezcla con las dos características anteriores deben tener atributos que le proporcionen estabilidad a la solución, cuyo tamaño de partícula no altere las propiedades de flujo ni la vida útil del producto, a la vez que aumenten los °Brix.

La viscosidad depende del grado de hidrólisis de una sustancia, de la cantidad de materia sólida y de la temperatura; disminuye a medida que aumenta el grado de hidrólisis o la temperatura, y aumenta

cuando se incrementa la sustancia sólida o se disminuye el contenido de agua. Una gran fracción de polisacáridos tiene un impacto especialmente significativo en la viscosidad (6). Esta propiedad de la mezcla es de importancia en el procesamiento de la fruta mezclada con aditivos, porque de ella depende la estabilidad del flujo por las tuberías a altas temperaturas. Químicamente las maltodextrinas son un oligosacárido (carbohidrato complejo soluble), o sea un polímero de unos pocos monosacáridos condensados con un grado de polimerización que va de dos a diez aproximadamente. Las maltodextrinas son clasificadas dependiendo de su equivalencia en dextrosa (ED), es decir, el grado de polimerización (GP) o su poder reductor. Las maltodextrinas de menor ED (<20) son higroscópicas, y las de mayor ED (entre 20 y 60) tienden a absorber humedad (6); además, usadas como aditivo alimenticio son moderadamente dulces. Se producen del almidón de maíz y tienen la apariencia de un polvo higroscópico blanco cremoso (color de amarillento a pardo), con un elevado punto de inflamación (>250°C), buena solubilidad en agua (aprox. 500 g/L) (6). Al ser un oligosacárido aumenta los °Brix, motivo por el cual se utilizó como aditivo para aumentar el rendimiento.

Este oligosacárido es de alta solubilidad (con un ED >20), por su gran número de grupos OH los cuales le permiten formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, hidratándose y formando moléculas esféricas al mezclarse. A menudo estas moléculas esféricas establecen contacto entre ellas y dan, incluso en soluciones muy diluidas, una viscosidad considerablemente superior a la del agua sola; por consiguiente, al aumentar la concentración de oligosacáridos debería obtenerse un rápido incremento de la viscosidad; no obstante, para moléculas de polisacáridos fuertemente ramificados, el volumen hidratado ocupado es más pequeño que el resultante de un polisacárido totalmente lineal o poco ramificado, favoreciendo una menor viscosidad para los polisacáridos muy ramificados (6). La maltodextrina (Véase figura 1), debido a su gran número de ramificaciones, adquiere una forma helicoidal de tamaño pequeño logrando volúmenes más pequeños, dando como resultado una mínima viscosidad; esto brinda la posibilidad de adicionar buenas cantidades de maltodextrinas logrando un aumento en grados Brix sin afectar de manera relevante la viscosidad final en la mezcla.

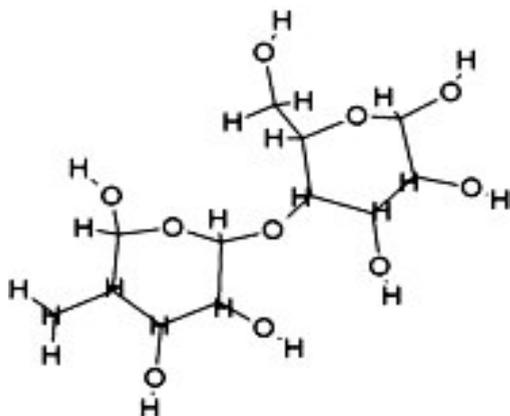


Figura 1. Estructura de la maltodextrina.

La goma arábica es un heteropolisacárido ramificado, formado por una cadena principal de unidades de β -galactopiranosas, a la cual se unen L-ramnopiranosas, arabinofuranosas y ácido glucurónico, lo que le da la propiedad de ser un hidrocoloide hidrofílico. Su peso molecular varía entre 250.000 y 1.000.000, y en estado natural es una molécula compacta donde el 95% de este peso lo conforman los polisacáridos y 1-2% las proteínas (7). La influencia de grupos ácidos hace que la viscosidad de sus dispersiones se vea afectada por la adición de ácidos o álcalis y por la presencia de cationes (8). Dos de sus características principales son su alta solubilidad en agua, hasta 50%, y la baja viscosidad que desarrolla en comparación con otras gomas; otra característica es su compatibilidad con altas concentraciones de azúcares (9). Por ser un hidrocoloide, el interés tecnológico en la industria de alimentos está basado en su comportamiento reológico, y más específicamente para este proyecto; por su comportamiento en la viscosidad, podemos afirmar que todos los hidrocoloides poseen la propiedad de aumentar considerablemente la viscosidad del medio acuoso en concentraciones bajas, aproximadamente al 1%. Este poder espesante varía mucho de una goma a otra, siendo muy elevado para la goma xantana, las carrageninas, los derivados de la celulosa y las galactomananos, y más limitado para las pectinas, la goma arábica y los almidones (8, 10-12).

La razón por la cual la goma arábica proporciona aumento en la viscosidad es su capacidad de formar gel, es decir, un estado intermedio entre el estado líquido y el sólido, constituido por una red macromolecular que retiene entre sus mallas una fase líquida; esto da la idea de un “orden” en el gel, en oposición a una solución representativa de

un “desorden”. En efecto, la asociación de cadenas o de segmentos de cadenas produce un aumento en el espacio y, por lo tanto, de la viscosidad. En la medida que las cadenas se organizan entre sí, el gel se hace más rígido, lo que indica aumento de las características reológicas. Todas las características anteriores hacen de éste un compuesto que puede aumentar la viscosidad pero sin mucha repercusión en los °Brix (8).

La mezcla con mejores condiciones para ser sometida al equipo de secado debe presentar buen contenido de sólidos solubles y mínima viscosidad. El objetivo de la primera variable, como ya se mencionó, es maximizar el rendimiento del producto, y el de la segunda, permitir un adecuado paso de la mezcla a través del sistema de atomización (disco o difusor) del equipo. El mínimo contenido de sólidos solubles esperados para obtener un buen rendimiento se estimó en un 40%.

El objetivo de este trabajo es definir las cantidades óptimas de maltodextrina y goma acacia a utilizar para maximizar °Brix y minimizar la viscosidad en pulpa de banano para su posterior secado por aspersión.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Universidad de Antioquia. Las pruebas se realizaron en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos. Para la de viscosidad se empleó un equipo Brookfield, DV-II + Digital PRO tradicional; con aguja N°3, a 50 revoluciones por minuto, a una temperatura promedio de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa del $62 \pm 4\%$. Cada muestra se dejó el tiempo necesario hasta que se estabilizaran los resultados y para la variable °Brix se utilizó un refractómetro marca Abbe Milton Roy Company 3L. Los métodos de referencia para medir proteína, calcio, humedad y grasa fueron los aprobados por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) códigos: 984,13 - 944,03 - 925,23 y 989,05.

Materiales. Se trabajó con bananos procedentes de Urabá (Colombia), por ser los de mayor consumo en el país, con un 50% de madurez (evaluado por tablas de color), ya que presentan mejor sabor y más facilidad en la obtención de la pulpa. Los SS de la pulpa no se tuvieron en cuenta para la elaboración de la mezcla porque son muy variables, no sólo entre especie, sino en cuanto al grado de madurez de la fruta. Además, se trabajó con todo tipo

de bananos de la zona de Urabá, sin limitarse a una especie única, para lograr una reutilización de todo el banano que se descarta en la zona. Para la elaboración de la pulpa, se empleó además ácido cítrico y ascórbico al 0,1%; agua potable; 33,6 Kg de pulpa de banano; 0,00168 Kg de benzoato de sodio; 0,00168 Kg de sorbato de potasio, maltodextrinas “MD” (30-40%, 25 Kg). La maltodextrina empleada en este proyecto tiene un pH de 4 a 6, con 21% equivalentes de dextrosa, una solubilidad del 99,7%, de color blanco y libre de impurezas objetables de forma visual, y goma acacia “GA” (5-10%, 2 Kg), elaborada por Garagum Internacional, con un contenido de material no soluble del 2%, cenizas totales del 4%, viscosidad > 60 cP. Se usó calcio lácteo “CL” 0,48 Kg (en vez de citrato de calcio, mineral que fue considerado inicialmente por su alta biodisponibilidad, pero descartado por su escasa solubilidad). El calcio lácteo, en cambio, tiene mayor biodisponibilidad porque es un compuesto orgánico constituido por minerales, carbohidratos, grasa y proteína láctea, obtenido directamente de la leche y cuyo tamaño de partícula, 20 μm , es inferior a la del citrato de calcio. Presenta, además, la apariencia de un polvo fino, lo que permite obtener una harina con mejor característica sensorial.

Métodos. Para obtener 1 L de pulpa de banano, se utilizaron 500 g netos de banano maduro al 50%. Por cada kilogramo de banano (con cáscara), se adicionaron 2 L de agua hirviendo y 2 g de ácido cítrico al 0,1%, se escaldaron durante tres minutos a temperaturas de $95 \pm 2^\circ\text{C}$ en recipientes de acero inoxidable; luego se retiró el agua caliente y se hizo un enfriamiento rápido sumergiendo en agua fría. El banano escaldado pesó 1 Kg, se le adicionó la misma cantidad de su peso en agua y la misma proporción de ácido ascórbico y cítrico al 0,1% (1 Kg de banano por 2 g de ácido cítrico), se licuó en una licuadora semindustrial con capacidad de 1,5 L marca Osterizer y posteriormente se pasó por un tamizador con malla 0,5 mm para eliminar las partículas de semillas. El producto obtenido se almacenó en recipientes plásticos con tapa hermética, previamente lavada y desinfectada, y se continuó con la preparación de la mezcla.

Se estandarizaron los métodos para el proceso de medición de las variables respuestas incluyendo una capacitación sobre el manejo de los equipos y la lectura de los resultados; igualmente se trabajó con equipos previamente calibrados por el laboratorio. Inicialmente, en un agitador magnético sencillo

sin placa de calentamiento, con un máximo de 300 rpm, conformado por un Baker con capacidad de 250 cm^3 , se combinaron 40 cm^3 de pulpa de banano con las cantidades correspondientes de MD, GA y CL, se adicionó poco a poco la cantidad necesaria de pulpa hasta obtener 100 cm^3 de mezcla homogénea. Luego de preparar las mezclas se procedió a medir a cada una $^\circ\text{Brix}$ y viscosidad.

Los sólidos de fruta se dejaron constantes por su poco contenido de la misma, pero además, su variabilidad no permitía trabajar con valores exactos para calcular los $^\circ\text{Brix}$. El calcio lácteo no se modificó porque es un micronutriente y su contenido en el producto debe ser constante. El diagrama general que describe la obtención de la mezcla de pulpa de banano se presenta en el diagrama de flujo (Véase figura 2).

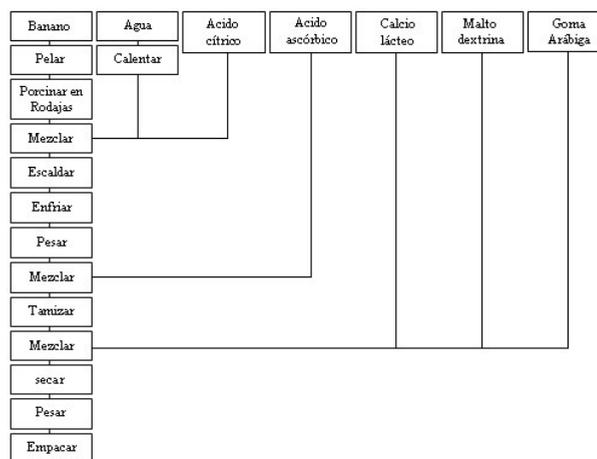


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de obtención del banano.

Para el secado se utilizó un equipo marca AL-SEC. La mezcla de banano fue alimentada al equipo por disco, aplicando temperatura de entrada de 190°C y de salida de 116°C ; la velocidad de rotación del atomizador fue de 1,600 rpm; la velocidad de alimentación fue de 5,5 L/h (para corridas de 10 L).

Diseño experimental

Para optimizar las variables se generó un diseño central compuesto rotatable con las variables de proceso: MD, GA con sus respectivos niveles (Véase tabla 1). Se precisó este diseño porque permite optimizar los factores, maximizando la cantidad de información que puede ser obtenida con un menor número de experimentos individuales, y además no requiere repeticiones (12).

Tabla 1. Variables independientes codificadas y naturales usadas para la generación del diseño experimental rotatable.

Variables Independientes	Variable Codificada					Variable Natural				
	Niveles					Niveles				
Maltodextrinas "MD"	$-\alpha$	-1	0	+1	α	26,591	30	35	40	43,409
Goma Acacia "GA"	$-\alpha$	-1	0	+1	α	3,295	5	7	10	11,704

El diseño rotatable se conformó con una porción factorial constituida por $2^k = 2^2 = 4$ tratamientos, que constituyen todas las combinaciones posibles de los niveles de las variables, una porción central, constituida por 4 repeticiones conformadas por el punto medio entre el nivel bajo y alto de cada variable de proceso, y una porción axial constituida por $2k = 2(2) = 4$ tratamientos axiales alejados a una distancia codificada $\alpha = (n_p)^{1/2} = (4)^{1/2} = \pm 2$ de la porción central del diseño, los cuales le confieren la característica de rotabilidad al mismo. Por lo anterior, el número de experimentos para cada experimento es $2^2 \times 2 + 4$ repeticiones al centro + 4 puntos axiales, para un total de 16 corridas (Véase

tabla 2). La relación entre las variables naturales y codificadas se expresa en las ecuaciones 1 y 2:

$$x_1 = \frac{\xi_1 - 40 MD}{30 MD} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$x_2 = \frac{\xi_2 - 10 GA}{5 GA} \quad \text{Ecuación 2.}$$

donde x_1 y x_2 : variables codificadas de MD y GA respectivamente (señaladas en el diseño), y ξ_1 y ξ_2 : sus respectivas variables naturales (12). Se empleó el programa Statgraphics versión 5.1 para el análisis de los datos.

Tabla 2. Combinación de MD y GA del diseño experimental central compuesto rotatable.

Corridas	SF (%)	MD (g)	GA (g)	Calcio (g)	°Brix	Vel (50 RPM)	
						cP	T(°C)
1	2	26,6	7,5	0,8	31,4	204	22
2	2	35	7,5	0,8	40	295,1	22
3	2	40	5	0,8	44,5	638	22,2
4	2	35	3,3	0,8	42,6	434,3	22,6
5	2	35	7,5	0,8	42,8	537,5	23
6	2	30	5	0,8	34,6	180	22
7	2	35	7,5	0,8	40,1	547,1	22
8	2	40	10	0,8	49	2301	22
9	2	43,4	7,5	0,8	45,4	1147	21,9
10	2	30	5	0,8	34,2	182	21,7
11	2	30	10	0,8	37,8	439,1	21,7
12	2	40	10	0,8	45,8	1385	21,8
13	2	40	5	0,8	44	854	21,9
14	2	30	10	0,8	36,4	321,5	22
15	2	35	7,5	0,8	38	400,3	22
16	2	35	11,7	0,8	43,4	1099	22

cP: Centipoises.

Análisis estadístico generado por el software Statgraphics versión 5.1.

Para optimizar las variables respuesta ($^{\circ}$ Brix y viscosidad), se utilizó la metodología de la pendiente ascendente (técnica de optimización que tiene como objetivo encontrar el y/o los puntos que maximizan o minimizan la ecuación de superficie de respuesta (13). Este proceso permite recorrer, secuencialmente, la trayectoria de la máxima o mínima pendiente que conduce a la dirección del máximo o mínimo aumento de la respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño rotatable central compuesto utilizado en el presente trabajo, permitió elaborar una prueba de bondad de ajuste para la evaluación estadística de los modelos matemáticos ajustados y los análisis de varianza de las dos variables respuestas $^{\circ}$ Brix y Viscosidad (Véase tabla 3 y 4). En estos análisis, el término residual que resulta al extraer de la variabilidad total la correspondiente a los términos de los modelos, fue a su vez utilizado para generar una prueba de bondad de ajuste al descomponerse

en un término de error puramente aleatorio y un término de error debido a la falta de ajuste de los modelos (12).

Análisis estadístico de la mezcla

$^{\circ}$ Brix. Mediante el análisis de varianza, la única variable significativa fue la maltodextrina (MD) $p < 0,05$. Ni el factor MD, las interacciones entre los factores, términos cuadráticos y la falta de ajuste son significativos (Véase tabla 3). La falta de ajuste no significativa indica que la superficie de respuesta que se genere ajustará bien los datos; por lo tanto, se puede tomar su función polinómica para encontrar las combinaciones óptimas que se desee analizar.

Viscosidad (cP). Los tratamientos significativos $p < 0,05$ para esta variable respuesta son MD, GA y la interacción entre MD*GA. La falta de ajuste no es significativa (Véase tabla 4), lo cual indica que la superficie de respuesta ajusta bien los datos, por lo tanto se puede tomar su función polinómica para encontrar las combinaciones óptimas que se quiere analizar.

Tabla 3. Análisis de Varianza (Grados Brix).

Fuente	S.S.	g.l.	C.M.	Valor F	Valor P
A: MD	298,472	1	298,472	116,38	0,0001
B: GA	12,4613	1	12,4613	4,86	0,0633
AA	4,25414	1	4,25414	1,66	0,2387
AB	0,10125	1	0,10125	0,04	0,8482
BB	11,5241	1	11,5241	4,49	0,0717
Falta de Ajuste	7,69791	3	2,56597	1	0,4469
Error	17,9525	7	2,56464		
Total	358,53	15			

Número de observaciones 16 $R^2 = 92,84\%$ R^2 ajustado = $89,26\%$

Tabla 4. Análisis de Varianza (Viscosidad cP).

Fuente	S.S.	g.l.	C.M.	Valor F	Valor P
A: MD	2,33E+06	1	2,33E+06	33,07	0,0007
B: GA	1,01E+06	1	1,01E+06	14,31	0,0069
AA	115701	1	115701	1,64	0,2409
AB	402933	1	402933	5,72	0,0481
BB	200960	1	200960	2,85	0,1351
Falta de Ajuste	303101	3	101034	1,43	0,3118
Error	493222	7	70460,2		
Total	4,79E+06	15			

Número de observaciones 16 $R^2 = 83,36\%$ R^2 ajustado = $75,04\%$

El error cuadrático estadístico indica que el modelo ajustado explica en 92,84 y 83,36% la variabilidad de °Brix y viscosidad (cP) respectivamente. El error cuadrático ajustado, que es más recomendable para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 89,26% para °Brix y 75,04% para la viscosidad.

La maltodextrina tiene un efecto significativo sobre los °Brix y la viscosidad cuando pasa de su nivel inferior al superior respecto a la goma acacia. Se puede observar un punto de inflexión para °Brix, obteniéndose un mínimo cerca al nivel

inferior, pero después del punto de inflexión se observa un leve aumento cuando pasa del nivel inferior al superior, aunque éste no es muy grande; esto se confirmó anteriormente en el análisis de varianza, donde se reporta que este factor (goma acacia) no fue significativo para aumentar °Brix en la mezcla, pero sí sobre la viscosidad (Véase figura 3).

A continuación se presenta la ecuación 3 y 4 correspondiente a cada uno de los modelos ajustados para las variables respuestas consideradas en el estudio (°Brix y viscosidad cP):

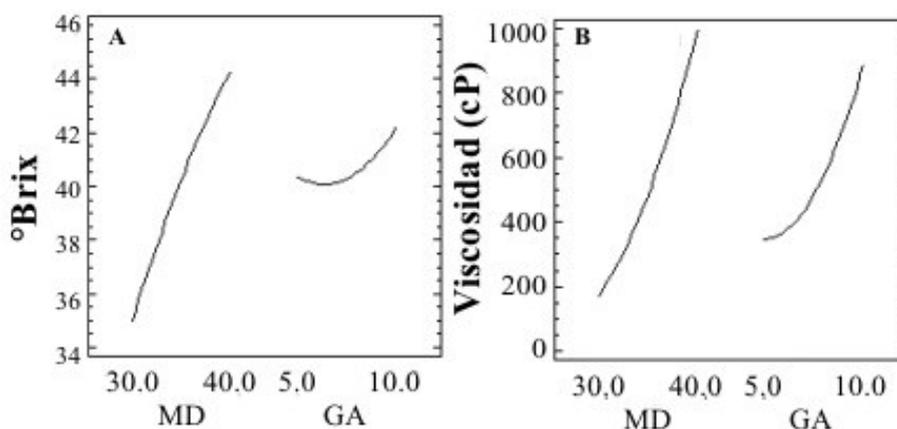


Figura 3. Efectos de las variables (maltodextrinas y goma acacia) en los °Brix y la viscosidad.

$$Y_1 = -13,96 + 2,59X_1 - 2,36X_2 - 0,03X_1^2 + 0,01X_1 * X_2 + 0,16X_2^2$$

Ecuación 3.

$$Y_2 = 7660,46 - 335,87X_1 - 840,34X_2 + 4,05X_1^2 + 17,95X_1 * X_2 + 21,38X_2^2$$

Ecuación 4.

Donde

X_1 : maltodextrina (MD) en gramos.

X_2 : Goma Acacia (GA) en gramos.

Y_1 : °Brix

Y_2 : Viscosidad (cP)

Se presentan los datos de los factores MD y GA en las diferentes corridas, así como los datos de cada variable respuesta obtenida y predicha de los modelos (1 y 2) que las correlaciona (Véase tabla 5).

Con la metodología de la pendiente ascendente se obtienen los valores de los factores que optimizan cada una de las variables respuestas (°Brix y Visco-

sidad). El máximo en °Brix se obtiene cuando se combinan 43,40 g de MD con 11,70 g de GA, y el valor que se obtiene es 51,19 °Brix. El mínimo en viscosidad se obtiene cuando se combinan 26,59 g de MD con 8,49 g de GA, y el valor que se obtiene es 55,83 cP. Se presenta la superficie de repuesta para cada una de las variables dependientes estudiadas (Véase figura 4).

Tabla 5. Diseño de experimentos y resultados esperados y obtenidos para la variables respuestas °Brix y viscosidad.

Corridas	MD (g)		GA (g)		Viscosidad (cP)		°Brix	
					Y Predicho	Y Obtenido	Y Predicho	Y Obtenido
1	-α	26,6	0	7,5	76,75	204,0	30,68	31,4
2	0	35	0	7,5	484,75	295,1	40,28	40,0
3	1	40	-1	5	636,67	638,0	44,29	44,5
4	0	35	-α	3,3	405,68	434,3	41,54	42,6
5	0	35	0	7,5	484,75	537,5	40,28	42,8
6	-1	30	-1	5	259,37	180,0	35,55	34,6
7	0	35	0	7,5	484,75	547,1	40,28	40,1
8	1	40	1	10	1628,91	2301,0	46,42	49,0
9	α	43,4	0	7,5	1466,18	1147,0	46,40	45,4
10	-1	30	-1	5	259,37	182,0	35,16	34,2
11	-1	30	1	10	353,90	439,1	36,85	37,8
12	1	40	1	10	1628,91	1385,0	46,42	45,8
13	1	40	-1	5	636,67	854,0	44,29	44,0
14	-1	30	1	10	353,90	321,5	36,85	36,4
15	0	35	0	7,5	484,75	400,3	40,28	38,0
16	0	35	α	11,7	1319,5	1099,0	44,75	43,4

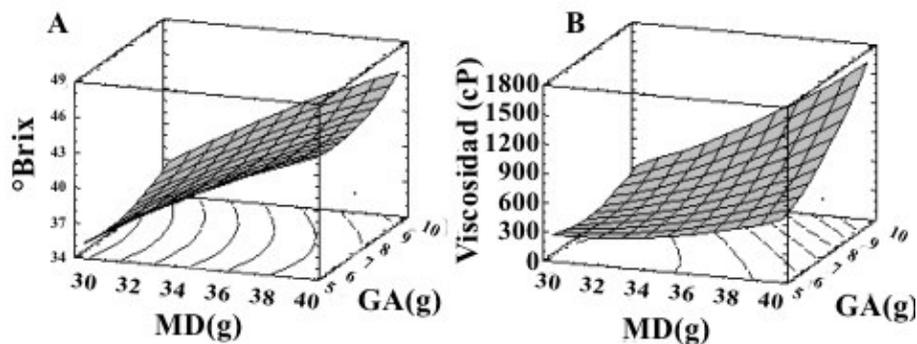


Figura 4. Superficies de respuesta que relacionan la maltodextrina (MD) y la goma acacia (GA) con: **A)** °Brix y **B)** viscosidad.

Es necesario encontrar un equilibrio entre el máximo de °Brix y viscosidad mínima para el proceso de secado (Véase figura 5).

La combinación de tratamientos que genera el comportamiento antes descrito es 39,95 g MD con 3,29 g GA; con ella se encuentra el punto donde

los °Brix son máximos y la viscosidad es mínima, encontrándose un valor de viscosidad de 634,59 cP y 46,44 °Brix. Estos óptimos se verificaron con un ensayo cuya cantidad de MD y GA fue de 39,95 g y 3,29 g respectivamente, obteniéndose un valor de 45,6 °Brix y 634 cP de viscosidad.

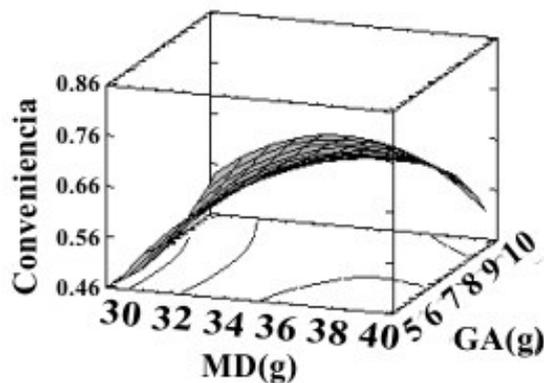


Figura 5. Superficie de respuesta para la conveniencia.

La maltodextrina es uno de los elementos más empleados para mejorar el rendimiento en los productos obtenidos por secado por aspersión. Este elemento, a pesar de haber modificado significativamente la viscosidad en la mezcla, no es una materia prima determinante para modificar viscosidad. Esta afirmación se puede hacer al observar la relación 12g maltodextrina versus 1 g goma acacia (Véase figura 4B), lo que permitió aumentar grados Brix de la manera deseada. Es así cómo, para el proceso de secado por aspersión, las maltodextrinas proveen matriz de soporte del elemento a secarse y permiten la obtención de polvo de libre flujo sin cambiar o enmascarar el sabor original (14). La mezcla obtenida a partir del diseño experimental confirma que, en la actualidad, es uno de las materias primas base en los procesos de secado por aspersión para productos con un bajo contenido de sólidos totales. En el estudio de microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión (15), se emplea maltodextrina para microencapsular en concentraciones de 1, 3 y 5%. En este trabajo se emplearon cantidades muy superiores (39,95%), permitiendo una mezcla óptima para ser procesada por el equipo y mejorar el rendimiento final.

La goma acacia, por el contrario, es una materia prima empleada en los procesos de encapsulación, por su efecto envolvente, lo cual sugiere optimización de la encapsulación, pero el resultado sobre la viscosidad es desfavorable: a mayor contenido de goma acacia en la mezcla mayor viscosidad (15). Por esta razón las cantidades de goma para los procesos de secado por aspersión deben ser bajas, confirmando lo observado en este estudio donde la cantidad empleada para la obtención de la mezcla no debe ser mayor de 3,29%.

La mezcla, para ser sometida al secador, debe presentar un buen contenido de sólidos solubles y una mínima viscosidad. El objetivo de la primera variable es maximizar el rendimiento del producto, y el de la segunda permitir un adecuado paso de la mezcla a través de la tubería del equipo. El mínimo contenido de sólidos solubles esperado en la mezcla se estimó en un 40%. De acuerdo con el diseño de experimento la combinación de tratamientos que genera el comportamiento antes descrito es 39,95 g MD y 3,29 g GA. Con esta combinación de tratamientos se encuentra el punto donde la viscosidad es mínima (634,59 cP) y los °Brix máximos (46,44%).

El conocimiento de los dos factores anteriores nos llevó a utilizar un diseño experimental rotatable con réplicas al centro para obtener la combinación óptima de las materias primas que admitan aumentar al máximo los grados Brix, con una viscosidad apta para pasar por el secador. Este diseño logra, con pocas réplicas, optimizar las variables del proceso, lo que significa ahorro en tiempo y dinero para el investigador; sin embargo, para obtener óptimos resultados, el método de preparación de las muestras debe ser manejado rigurosamente, la toma de los pesos y las medidas debe realizarse con equipos calibrados y con personal estandarizado. Solo de esta forma se logran resultados exactos y precisos. Los factores anteriores se tuvieron presentes en este estudio, motivo por el cual los resultados en la superficie de respuesta y la preparación de la mezcla fueron acertados. Esta composición pasó de manera fluida por el secador marca ALSEC; la mezcla de banano fue alimentada al equipo por disco aplicando temperatura de entrada de 190°C y de salida de 116°C; la velocidad de rotación del atomizador fue de 1,600 rpm, la velocidad de alimentación fue de 5,5 L/h (para corridas de 10 L), obteniéndose así un producto de partículas pequeñas, suave, suelto, de aspecto semejante al de la leche en polvo.

Con estas condiciones finales, se alcanzó una mezcla con la fluidez adecuada (baja) para ser pasada por las tuberías del secador y con rendimiento aceptable (67%) para esta prueba. La relación entre el sólido obtenido a la salida y la mezcla con que se alimenta la entrada del equipo se evalúa mediante la ecuación 5:

DX_D = Peso final del material sólido obtenido después del secado.

LX_L = Cantidad de mezcla que se introdujo en el secador.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{DX_D}{LX_L} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.}$$

El proceso anterior y los resultados obtenidos llevan a considerar que el modelo estadístico (rotatable) y un manejo estricto del método en el momento de la preparación de las mezclas, puede garantizar el éxito en los resultados.

CONCLUSIONES

La combinación de maltodextrina en un 39,95% con goma acacia en 3,29%, permitió obtener una mínima viscosidad de 634,59 cP y un máximo de 46,44% °Brix, combinación que era necesaria para encontrar el equilibrio entre las dos variables básicas que permitan el paso de la mezcla por el equipo de forma fluida con un rendimiento adecuado de producto.

Para la preparación de la mezcla con °Brix óptimos se aconseja descartar el contenido de sólidos solubles de la pulpa de banano, por las variaciones que se dan entre especies y en la madurez, que impiden obtener su valor exacto. Se recomienda no contabilizar los °Brix de la pulpa para la formulación, tomando este dato como un contenido adicional que aumentará los sólidos solubles de la mezcla final. El uso de un diseño rotatable compuesto con réplicas al centro, acompañado de una buena metodología de trabajo y personal capacitado, da la posibilidad de trabajar con un menor número de corridas y se pueden lograr resultados confiables.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa ALSEC S.A; al Ingeniero Químico Alejandro Vanegas; al Doctor en Biotecnología, José Edgar Zapata, por sus aportes y recomendaciones en el desarrollo de este trabajo. Al Fondo de Investigación Aplicada de la Universidad de Antioquia por la financiación del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shri K, Sharma SJ, Mulvaney SS. Ingeniería de Alimentos, Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. 2ª ed. México: Limusa Wiley; 2003.
2. Gibas BF, Kermasha S, Alli I, Mulligan CN. Encapsulation in the food industry: A review. *Int J Food Sci Nutr.* 1999; 50 (3): 213-224.
3. Candelas M, Alanis M, del Río F. Cuantificación de licopenos y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Rev Mex Agroneg.* 2006; 10 (19): 299-307.
4. Masters K. The spray drying Handbook. 3ª ed. New York: George Godwin; 1991.
5. López O, Muñoz A, Carmona R, González M, Torres L, Varela A, *et al.* Obtención y escalado de extracto seco de caléndula officinalis. *Rev Cub Quim.* 2007; 19 (1): 71-73.
6. Hodge JE, Osman E. En: Owen RF. Introducción a la ciencia de los alimentos. 2a ed. España: Reverte; 1982. p. 47-153.
7. López F, Goycoolea Y, Valdez F, Calderón A. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia.* 2006; 31 (3): 183-189.
8. Owen RF. Química de los alimentos. 2a ed. Zaragoza, España: Acribia; 2000.
9. Maldonado S, del Carmen J. Efecto de gelificantes en la formulación de dulce de yacón. *Cienc Tecnol Alimentos.* 2008; 28 (2): 429-434.
10. Universidad Nacional de Quilmes. Hidrocoloides. [Sitio en internet]. Disponible en: http://psceni.blog.unq.edu.ar/modules/docmanager/get_file.php?curent_file=22&curent_dir=11. Consultado: 10 de septiembre de 2008.
11. Remington. Farmacia Tomo I. 19ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 1998.
12. Myers RH, Montgomery DC. Experimental designs for fitting response surfaces – I. En: Response surface methodology. Process and product optimization using designed experiments. 2a ed. Nueva York: Wiley; 2002.
13. Montgomery DC. Response surface methods and other approaches to process optimization. En: Design and analysis of experiments. 5a ed. Nueva York: Wiley; 2001.
14. Candelas MG, Alanis MG, Bautista M, Del Río F, García C. Contenido de licopenos en jugo de tomate secado por aspersión. *Rev Mex Ing Quim.* 2005; 4 (3): 299-307.
15. Ochoa LA, Medrano H, García C, González MB. Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Cienc Tecnol Alimentos.* 2004; 4 (4): 262-266.