
FORMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN PRODUCTO OSMÓTICAMENTE DESHIDRATADO Y DE HUMEDAD INTERMEDIA A BASE DE MELÓN, PARCHITA Y LIMÓN

Félix Rafael Millán Trujillo y Marinelly Quintero López

RESUMEN

Se formuló y optimizó un producto de humedad intermedia a base de melón, parchita y limón, en dos etapas. En la primera se caracterizó el secado osmótico en función de los sólidos solubles, tiempo y temperatura de la solución de impregnación, mediante un diseño central compuesto. En la segunda etapa se desarrolló un diseño simplex lattice para la caracterización y optimización de los principales atributos sensoriales de cubos de melón, en función del efecto de formulación inducido por la parchita y el limón contenidos en la solución de impregna-

ción. Ambos diseños son de importancia industrial por cuanto permiten reducir el número de experimentos así como la optimización de procesos y productos. La fruta, inmersa en una solución con 70% de parchita, 10% de limón y 20% de agua y posterior ajuste de los °Brix, tiempo y temperatura que maximizaron el secado en la primera etapa, permitió la formulación de un producto de humedad intermedia ($a_w = 0,87$) de gran aceptabilidad y microbiológicamente estable durante al menos 16 días de almacenamiento bajo refrigeración.

FORMULATION AND OPTIMIZATION OF AN OSMOTICALLY DEHYDRATED AND INTERMEDIATE HUMIDITY PRODUCT BASED ON CANTALOUPE, PASSION FRUIT AND LEMON

Félix Rafael Millán Trujillo and Marinelly Quintero López

SUMMARY

An intermediate humidity product based on cantaloupe, passion fruit and lemon was formulated and optimized in two stages. In the first stage, the osmotic dehydration as a function of soluble solids, time and temperature of the impregnation solution was characterized through a central composite design. In the second one, a simplex lattice design was developed in order to characterize and optimize the main sensory attributes of cantaloupe cubes as a function of the formulation effect induced by the passion fruit and lemon contained in the

impregnation solution. Both designs are of interest in industry, in order to reduce the number of experiments and for process and product optimization. The fruit immersed in a 70% passion fruit, 10% lemon and 20% water solution, and later adjusted for the °Brix, time and temperature that maximized dehydration in the first stage, led to the formulation of an intermediate humidity product ($a_w = 0.87$) of good acceptability and microbiologically stable during at least 16 days of storage under refrigeration.

Introducción

La actividad de agua como medida del agua libre y disponible en un alimento, bien sea como reactivo o como medio de reacción, es un término muy adecuado para indicar la estabilidad de un producto alimenticio, además de contemplar la interacción del agua contenida en el alimento con los constituyentes del mismo en condiciones de equilibrio termodinámico.

De forma general, los productos perecederos se caracterizan por presentar valores elevados de actividad de agua,

usualmente $>0,98$, en tanto que los alimentos secos y de gran estabilidad, ubicados en el grupo de los productos no perecederos, poseen valores de actividad de agua generalmente $<0,60$ (Tapia *et al.*, 1996).

Entre ambos extremos existe una gama de productos con estabilidad variable. Entre estos, los productos de humedad intermedia, normalmente con una actividad de agua entre 0,75 y 0,92, son alimentos en los que una operación de deshidratación ha sido usualmente aplicada en forma leve en el proceso de fabricación y se requieren con-

diciones adicionales de conservación para su estabilización bioquímica y microbiológica. La manufactura de productos de humedad intermedia permite la obtención de alimentos estables y ligeramente modificados en su calidad global al compararse con las materias primas originales, por lo que su aplicación en frutas ha despertado interés en el desarrollo de productos a ser utilizados como materias primas para la formulación de bebidas a base de frutas, ensaladas y salsas (Cháfer *et al.*, 2001; Moyano *et al.*, 2002).

La etapa de secado contemplada en el desarrollo de productos de humedad intermedia a base de frutas es normalmente de carácter osmótico, en donde se utilizan carbohidratos como la sacarosa, glucosa y fructosa. Dado que durante el secado osmótico se verifican dos fenómenos principales de transferencia de masa, como son la transferencia de agua desde la fruta hacia la solución osmótica y la transferencia de solutos desde la solución osmótica hacia la fruta, el mismo puede ser empleado no solo como un proceso concebi-

PALABRAS CLAVE / Diseño Central Compuesto / Diseño *Simplex Lattice* / Humedad Intermedia / Limón / Melón / Parchita / Secado Osmótico /

Recibido: 16/09/2010. Modificado: 13/10/2011. Aceptado: 14/10/2011.

Félix Rafael Millán Trujillo. M.Sc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Simón Bolívar (USB), Venezuela.

Profesor, USB, Venezuela. Dirección: Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Sección de Inge-

niería de Alimentos. Edificio de Aulas. Piso 3. Valle de Sartenejas. Baruta, Edo. Miranda, Venezuela. e-mail: fmillan@usb.ve

Marinelly Quintero López. Ingeniera Química y Estudiante de Postgrado, USB, Venezuela.

FORMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UM PRODUTO OSMOTICAMENTE DESIDRATADO E DE UMIDADE INTERMEDIÁRIA A BASE DE MELÃO, MARACUJÁ E LIMÃO

Félix Rafael Millán Trujillo e Marinelly Quintero López

RESUMO

Foi formulado e otimizado um produto de umidade intermediária a base de melão, maracujá e limão, em duas etapas. Na primeira se caracterizou a secagem osmótica em função dos sólidos solúveis, tempo e temperatura da solução de impregnação, mediante um desenho central composto. Na segunda etapa foi desenvolvido um delineamento em látice simples (desenho simplex-lattice) para a caracterização e otimização dos principais atributos sensoriais de cubos de melão, em função do efeito de formulação induzido pelo maracujá e o limão contidos na solução de impregnação. Ambos os des-

enhos são de importância industrial já que permitem reduzir o número de experimentos assim como a otimização de processos e produtos. A fruta, imersa em uma solução com 70% de maracujá, 10% de limão e 20% de água e posterior ajuste dos °Brix, tempo e temperatura que maximizaram a secagem na primeira etapa, permitiu a formulação de um produto de umidade intermediária ($a_w = 0,87$) de grande aceitabilidade e microbiologicamente estável durante pelo menos 16 dias de armazenamento sob refrigeração.

do para conferir estabilidade a um alimento a través del control de la actividad de agua, sino como un proceso de formulación, en donde modificaciones específicas del *flavor* pueden ser incorporadas (Panagiotou *et al.*, 1998; Escriche *et al.*, 2000; Bidaisee y Badrie, 2001).

Considerando que el melón (*Cucumis melo* L) es una fruta de gran aceptación en Venezuela y que la pérdida postcosecha de frutas y hortalizas en el país oscila entre 20 y 30%, debido fundamentalmente a diversos factores involucrados en el manejo postcosecha de los recursos agrícolas, el trabajo que se presenta tuvo por finalidad la formulación y optimización, mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta, de un producto de humedad intermedia a base de melón, con la utilización de la pulpa de parchita (*Passiflora edulis*) y el zumo de limón (*Citrus limon*) como variables de formulación en la solución osmótica. Además, la inclusión de la parchita y el limón como soluciones de impregnación, permite la incorporación de compuestos fitoquímicos como los polifenoles y el incremento potencial del valor del producto en el retardo de los efectos derivados de los procesos oxidativos que tienen lugar en la fisiología humana.

Materiales y Métodos

Selección, preparación y caracterización de la materia prima

Las frutas fueron seleccionadas aleatoriamente de un mismo establecimiento comercial, con características externas similares de tamaño, forma, color y madurez, esta última corroborada mediante el índice °Brix / acidez iónica. Se lavaron con agua clorinada (15ppm de cloro residual) a fin de desinfectar la superficie de la cáscara. Con un cuchillo previamente desinfectado el melón se peló y con la ayuda de un vernier se obtuvieron cubos con las dimensiones establecidas en el diseño experimental desarrollado para la caracterización y optimización de la transferencia de agua desde la fruta hacia la solución osmótica. En la etapa de formulación y optimización del producto de humedad intermedia, se obtuvo la pulpa de parchita mediante la separación del mucílago de la cáscara y posterior separación y refinación de la pulpa mediante una despulpadora marca Sterling Power System Inc., Speed Trol, modelo 18 y paso a través de un tamiz de 80 mesh. El jugo de limón se obtuvo mediante extracción por presión a temperatura ambiente a través de un exprimidor de cítricos marca Oster® y posterior filtración con papel Whatman

Nº 4. Las materias primas se caracterizaron para las variables: acidez iónica (COVENIN, 1979), acidez titulable (COVENIN, 1977), sólidos solubles (COVENIN, 1983), actividad de agua mediante un equipo Decagon, modelo CX-2, densidad (COVENIN, 1976), carbohidratos totales y reductores (AOAC, 1990), cenizas (AOAC, 1990), ácido ascórbico (AOAC, 1990), y minerales mediante absorción y emisión atómica por medio de un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3110.

Caracterización y optimización de la transferencia de agua en la etapa de secado osmótico

A fin de establecer las condiciones óptimas para el secado osmótico de los cubos de melón, se desarrolló un diseño central compuesto de $2^k = 2^3 = 8$ condiciones de secado, donde k representa las variables de proceso (°Brix de la solución osmótica, temperatura, y tiempo de proceso). Cada factor operó en dos niveles, cuya forma codificada se definió arbitrariamente como -1 y +1. Los puntos centrales constituyen las réplicas de un tratamiento que consiste en operar cada factor en un nivel medio entre los niveles bajo y alto; estos puntos centrales tienen dos finalidades en el diseño: obtener una estimación independiente del error aleatorio o error

puro de los datos, y evaluar la curvatura de la variable respuesta cuando cada factor o variable independiente pasa del nivel bajo al alto. Los puntos axiales permiten darles características de rotabilidad al diseño. El diseño se completó con $2k = 2(3) = 6$ puntos axiales o estrella, ubicados a una distancia $(n_f)^{1/4} = \pm 1,681$ del centro geométrico del diseño, siendo n_f el número de condiciones de secado pertenecientes a la porción factorial del diseño (Montgomery, 2001). En total, se evaluaron 15 condiciones de secado osmótico (Tabla I). Antes de desarrollar el diseño, se determinó la humedad inicial de la fruta en $98,2 \pm 0,79\%$ ($n = 5$) de acuerdo a la metodología de la AOAC (1990). Así, los cubos de melón previamente pesados, se sumergieron completamente en las soluciones de impregnación. A fin de satisfacer las condiciones de temperatura del diseño, las soluciones osmóticas se colocaron previamente en baños de agua, tapados para evitar evaporación. Al final de cada tiempo, los cubos de fruta se secaron cuidadosamente con papel absorbente para remover el exceso de solución y se registró inmediatamente su peso. Finalmente, las muestras se secaron en un horno de convección a 60°C durante 16h y posteriormente en una estufa al vacío a 70°C por 24h para poder determinar la masa

seca de las frutas osmóticamente tratadas (Panagiotou *et al.*, 1998). La pérdida de agua (PA), como manifestación macroscópica de la transferencia de agua desde la fruta hacia la solución osmótica fue calculada para cada tratamiento como

$$PA = \frac{(M_0 \cdot m_0) - (M \cdot m)}{M_0}$$

donde M_0 : masa inicial de la fruta, M : masa final de la fruta (después del tratamiento osmótico), m_0 : masa seca inicial de la muestra de fruta, y m : masa seca de la fruta al final del secado osmótico (Millán y Ostojich, 2006).

Formulación y optimización del producto de humedad intermedia

Tomando como punto de partida las condiciones que maximizaron la pérdida de agua durante el secado osmótico de los cubos de melón, se desarrolló un diseño de mezcla *simplex lattice* {q, m}, conformado por $q=3$ componentes (parchita, limón y agua) con un espacio $m=2$ entre las proporciones 0 y 1 para cada componente en la mezcla. De esa forma, se conformaron

$$N = \frac{(q+m-1)!}{m!(q-1)!}$$

$N=6$ formulaciones, en las que las variables x_1 : parchita, x_2 : limón, y x_3 : agua, oscilaron en las proporciones $(x_1, x_2, x_3) = (100), (010), (001), (0, 50, 50), (0, 50, 50), (00, 50, 50)$.

En cada formulación, los cubos de melón se sumergieron completamente y se aplicó un pulso único de vacío de 430mm Hg durante 30s como técnica de aceleración de la transferencia de masa (Salvatori *et al.*, 1998), a fin de garantizar la rápida incorporación de los componentes del *flavor* presentes en las formulaciones a los cubos de melón. Seguidamente y para cada formulación, se aplicaron las condiciones de tiempo y temperatura que maximizaron el secado osmótico y se ajusta-

TABLA I
DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SECADO OSMÓTICO

Tratamientos	Variables codificadas			Variables naturales		
	°Brix	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	°Brix	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
(1)	- 1	- 1	- 1	40	30	6
a	+1	- 1	- 1	60	30	6
b	- 1	+1	- 1	40	50	6
ab	+1	+1	- 1	60	50	6
c	- 1	- 1	+1	40	30	14
ac	+1	- 1	+1	60	30	14
bc	- 1	+1	+1	40	50	14
abc	+1	+1	+1	60	50	14
Central	0	0	0	50	40	10
Central	0	0	0	50	40	10
Central	0	0	0	50	40	10
Central	0	0	0	50	40	10
Central	0	0	0	50	40	10
Central	0	0	0	50	40	10
Axial	- 1,681	0	0	33,2	40	10
Axial	+1,681	0	0	66,8	40	10
Axial	0	- 1,681	0	50	23,2	10
Axial	0	+1,681	0	50	56,8	10
Axial	0	0	- 1,681	50	40	3,3
Axial	0	0	+1,681	50	40	16,7

Los cubos de fruta fueron de 20mm por lado.

ron los °Brix mediante la incorporación de sacarosa.

Cada formulación del diseño fue evaluada por un panel entrenado conformado por diez panelistas mediante una escala continua no estructurada de 7 cm, previa definición en un grupo de enfoque de los términos descriptores: melón, parchita, limón, ácido, dulce y aceptabilidad. Cabe aclarar que de los diez panelistas, cinco fueron seleccionados aleatoriamente para evaluar, cada uno de ellos, las seis formulaciones del diseño y así obtener la primera réplica, en tanto que los otros cinco panelistas contribuyeron a generar la segunda réplica del diseño. Para cada formulación, los panelistas que conformaron la primera réplica, evaluaron formulaciones elaboradas a partir de muestras de fruta independientes de las utilizadas para la elaboración de las formulaciones que constituyeron la segunda réplica. Así, el juicio promedio de los cinco panelistas que evaluaron una determinada formulación, fue considerado como la réplica 1, y el juicio promedio de los cinco panelistas restantes constituyó la segunda réplica. La razón de ello fue obtener dos réplicas

del diseño y así poder generar una prueba de bondad de ajuste para el modelo lineal de superficie y evaluar la posible existencia de efectos aditivos y antagonicos en la formulación. Por otra parte, cada grupo de cinco panelistas realizó la evaluación sensorial de los cubos de melón provenientes de distintas frutas, a fin de poder ser considerados como réplicas.

Estabilidad del producto osmóticamente deshidratado

La formulación con mayor aceptabilidad, derivada del análisis del diseño *simplex lattice*, se almacenó a 0, 5 y 10°C durante 16 días, a través de los cuales se realizaron recuentos diarios por duplicado de mohos y levaduras (COVENIN, 1990) y aerobios mesófilos (COVENIN, 1987), así como lecturas de pH.

Resultados y Discusion

Las materias primas utilizadas para la formulación del producto de humedad intermedia se caracterizan por ser una fuente importante, tanto de ácido ascórbico como de nutrientes fundamentales para la

nutrición humana, tales como el potasio (Tabla II), por lo que las operaciones de formulación y secado osmótico de cubos de melón no solo aportó cualidades sensoriales y de estabilidad durante el almacenamiento sino que confirieron un carácter potencialmente funcional al producto desarrollado.

En la Tabla III se muestra el análisis estadístico del modelo matemático desarrollado para la caracterización y optimización del secado osmótico de los cubos de melón. Los efectos principales de las variables de proceso, así como los términos cuadráticos puros y de interacción, contribuyeron significativamente al ajuste del modelo matemático del proceso de secado osmótico ($p < 0,05$). Por otra parte, luego de la descomposición del término residual en el análisis estadístico, en el error puramente aleatorio y en el error debido a la falta de ajuste del modelo, se observó la inexistencia de una falta de ajuste estadísticamente importante del mismo ($p > 0,05$).

Aun cuando la corrección por tamaño ($R^2_{ajustado}$) del coeficiente de determinación expresa la capacidad del modelo para explicar el 97,69% de la variabilidad de los datos experimentales, la poca magnitud de los coeficientes parciales de regresión, en especial de los términos cuadráticos, permitió caracterizar la pérdida de agua durante el secado osmótico como un plano de regresión ligeramente curvado, predictivo de la región no explorada pero contenida en los límites del diseño (Figura 1). La exploración de la superficie permitió maximizar la pérdida de humedad durante el secado osmótico de la fruta bajo condiciones de 50°C y 14h de proceso, me-

TABLA II
 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS FRUTAS UTILIZADAS
 EN LA FORMULACIÓN DEL PRODUCTO DE HUMEDAD INTERMEDIA

Característica	Frutas (parte comestible)		
	Melón	Parchita	Limón
Sólidos solubles (°Brix a 20°C)	6,352 ±0,90	12,770 ±0,86	8,658 ±0,85
Acidez titulable	0,330 ±0,04	1,225 ±0,04	2,427 ±0,02
Acidez iónica (pH a 25°C)	5,347 ±0,06	2,54 ±0,04	1,828 ±0,003
°Brix / pH	1,187 ±0,16	5,027 ±0,33	4,737 ±0,46
Densidad (a 15°C)	1,086 ±0,09	1,535 ±0,15	1,289 ±0,03
Actividad de agua (aw a 25°C)	0,966 ±0,001	0,963 ±0,003	0,959 ±0,009
Humedad	90,62 ±1,65	89,22 ±0,25	91,09 ±0,11
Azúcares reductores	3,686 ±0,67	3,262 ±0,25	2,331 ±0,66
Azúcares totales	3,686 ±0,67	5,830 ±0,24	3,079 ±0,08
Cenizas	0,448 ±0,02	0,629 ±0,11	0,055 ±0,02
Sodio (mg / 100g)	5,123 ±0,08	2,319 ±0,68	2,404 ±0,79
Potasio (mg / 100g)	54,02 ±2,24	94,10 ±4,43	12,23 ±3,16
Calcio (mg / 100g)	9,009 ±0,34	4,532 ±0,69	4,311 ±0,43
Magnesio (mg / 100g)	2,882 ±0,08	1,893 ±0,09	1,942 ±0,05
Cinc (mg / 100g)	0,091 ±0,007	0,229 ±0,009	0,082 ±0,02
Hierro (mg / 100g)	0,227 ±0,05	0,655 ±0,22	0,245 ±0,11
Ácido ascórbico	26,27 ±1,79	19,85 ±0,99	33,21 ±1,80

TABLA III
 EFECTOS, COEFICIENTES PARCIALES DE REGRESIÓN Y ANÁLISIS DE VARIANZA
 DEL MODELO ESTADÍSTICO PARA EL SECADO OSMÓTICO

Variable de proceso	Efecto	Coefficiente regresional	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	
Constante		0,036				
A: °Brix	0,141	0,008	0,067	1	0,067	0,0000
B: temperatura	0,113	-0,012	0,044	1	0,044	0,0000
C: tiempo	0,097	0,008	0,032	1	0,032	0,0000
AA	-0,022	-1,1x10 ⁻⁴	0,001	1	0,001	0,0065
AB	0,027	1,3x10 ⁻⁴	0,001	1	0,001	0,0079
AC	0,032	4x10 ⁻⁴	0,002	1	0,002	0,0044
BB	0,025	1,2x10 ⁻⁴	0,002	1	0,002	0,0040
CC	-0,032	1x10 ⁻³	0,003	1	0,003	0,0015
Falta de ajuste			0,001	6	2,9x10 ⁻⁴	0,0768
Error puro			2,5x10 ⁻⁴	4	6,2x10 ⁻⁵	

Coefficiente de determinación: R²= 98,71
 Coeficiente de determinación ajustado: R²_{ajustado}= 97,69

diante una significativa reducción de la concentración de la solución a 54°Brix.

Las condiciones de secado osmótico analizadas con anterioridad se aplicaron en conjunto con un pulso único de vacío

en la etapa de formulación del producto, cuyos resultados se muestran en la Tabla IV mediante un análisis detallado del diseño *simplex lattice*.

Para cada atributo sensorial definido y evaluado por el

panel entrenado, se desarrollaron y evaluaron estadísticamente modelos de mezcla lineales y cuadráticos de la forma

$$E(y) = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i$$

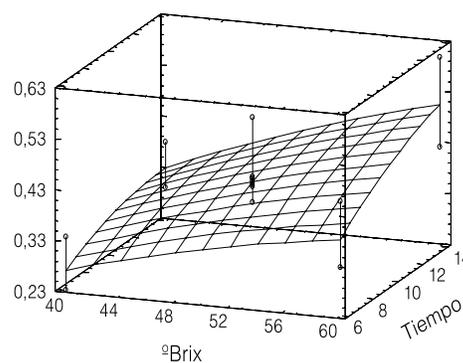
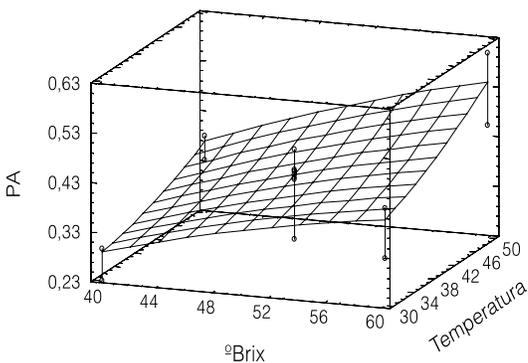


Figura 1. Superficies de respuesta de las interacciones significativas del proceso de secado osmótico.

donde X_i: proporción en que participa en la mezcla el ingrediente i, β_i: término predictor asociado a la variable descrita con anterioridad; y

$$E(y) = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i,j=2}^n \beta_{ij} x_i x_j$$

donde X_i e X_j: interacción (sinérgica o antagónica) que se suscita por la interacción de las distintas proporciones de los ingredientes i y j en la mezcla, y β_i y β_{ij}: términos predictores asociados a las variables descritas.

En el análisis estadístico se incluyó la evaluación general de los modelos lineal y cuadrático, el desarrollo de la prueba de bondad de ajuste para el modelo lineal y el análisis detallado del modelo cuadrático, previa verificación de la distribución normal, independencia y homocedasticidad de los residuales.

Los resultados derivados de las superficies de mezcla no deben parecer contradictorios si para todos los atributos sensoriales, a excepción de los atributos dulce y ácido, tanto el modelo lineal como el cuadrático parecen modelar por igual la formulación de la fruta impregnada.

Nótese al mismo tiempo que en todos los atributos sensoriales en los que la superficie de mezcla es lineal, a excepción del atributo ácido, la falta de ajuste del modelo es estadísticamente importante al desarrollar la prueba de bondad de ajuste para un error tipo I de 0,05. Este tipo de resultado significa que si bien existe un efecto aditivo de los componentes de la solución de secado-formulación sobre todos los atributos sensoriales evaluados, el sistema de formulación en su totalidad no puede ser considerado como aditivo, de allí la falta de ajuste del modelo lineal, sino que requiere ser modelado por una ecuación de mayor complejidad, que incluya los términos de interacción entre los componentes de la solución de formulación.

En concordancia con las ideas desarrolladas con anterioridad, puede observarse que en todos los atributos en los que el modelo lineal exhibió una falta de ajuste significativa, existen al menos dos términos cuadráticos

TABLA IV
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO DE MEZCLA SIMPLEX LATTICE

Atributos																	
Parchita						Melón						Limón					
Modelo	SC	Gl	CM	F	p	Modelo	SC	Gl	CM	F	p	Modelo	SC	Gl	CM	F	p
Promedio	154	1	154			Promedio	166	1	166,9			Promedio	127	1	127,6		
Lineal	44,42	2	22,21	26,98	0,000	Lineal	17,17	2	8,58	12,89	0,002	Lineal	45,62	2	22,81	15,68	0,001
Cuadrático	6,92	3	2,30	28,75	0,000	Cuadrático	5,60	3	1,86	28,58	0,000	Cuadrático	11,84	3	3,94	18,81	0,001
Residual	0,48	6	0,08			Residual	0,39	6	0,06			Residual	1,25	6	0,20		
Total	205,8	12				Total	190,1	12				Total	186,3	12			
Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)						Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)						Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)					
Lineal	44,42	2	22,21	276,5	0,000	Lineal	17,17	2	8,58	131	0,000	Lineal	45,62	2	22,81	108	0,000
FA	6,92	3	2,30	28,75	0,000	FA	5,60	3	1,86	28,58	0,000	FA	11,84	3	3,94	18,81	0,001
Error puro	0,48	6	0,08			Error puro	0,39	6	0,06			Error puro	1,25	6	0,20		
Análisis del modelo cuadrático						Análisis del modelo cuadrático						Análisis del modelo cuadrático					
Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $B_{ij} = 0$		p	Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $\beta_{ij} = 0$		p	Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $\beta_{ij} = 0$		p
X_1	5,925		No aplica			X_1	4,36		No aplica			X_1	1,99		No aplica		
X_2	2,85		No aplica			X_2	1,97		No aplica			X_2	5,28		No aplica		
X_3	0,45		No aplica			X_3	5,19		No aplica			X_3	0,29		No aplica		
X_1X_2	3,75		3,34		0,012	X_1X_2	2,22		2,57		0,036	X_1X_2	8,68		5,90		0,000
X_1X_3	8,43		7,53		0,000	X_2X_3	-7,33		-8,48		0,000	X_2X_3	9,04		6,14		0,000
R ² ajustado= 97,72						R ² ajustado= 96,96						R ² ajustado= 96,52					
Dulce						Aceptabilidad						Ácido					
Modelo	SC	Gl	CM	F	p	Modelo	SC	Gl	CM	F	p	Modelo	SC	Gl	CM	F	p
Promedio	390	1	390			Promedio	275	1	275			Promedio	143	1	143		
Lineal	1,24	2	0,62	1,16	0,356	Lineal	6,04	2	3,02	7,74	0,011	Lineal	34,06	2	17,03	32,52	0,000
Cuadrático	3,55	3	1,18	5,56	0,036	Cuadrático	2,93	3	0,97	10,15	0,009	Cuadrático	2,82	3	0,94	2,98	0,118
Residual	1,27	6	0,21			Residual	0,57	6	0,09			Residual	1,89	6	0,31		
Total	396,5	12				Total	285	12				Total	182				
Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)						Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)						Prueba de falta de ajuste (FA) (modelo lineal)					
Lineal						Lineal	6,04	2	3,02	31,35	0,000	Lineal	34,06	2	17,03	54,03	0,000
FA						FA	2,93	3	0,97	10,15	0,009	FA	2,82	3	0,94	2,98	0,118
Error puro						Error puro	0,57	6	0,09			Error puro	1,89	6	0,31		
Análisis del modelo cuadrático						Análisis del modelo cuadrático						Análisis del modelo cuadrático					
Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $B_{ij} = 0$		p	Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $\beta_{ij} = 0$		p	Variables	Coeficientes β_i y β_{ij}		T para H_0 $\beta_{ij} = 0$		p
X_1	5,99		No aplica			X_1	5,57		No aplica			X_1	3,73		No aplica		
X_2	5,92		No aplica			X_2	5,19		No aplica			X_2	5,91		No aplica		
X_3	6,37		No aplica			X_3	3,37		No aplica			X_3	0,71		No aplica		
X_1X_2	-5,48		-3,66		0,008	X_1X_2	-1,56		-1,45		0,197						
X_2X_3	-3,99		-2,66		0,032	X_1X_3	5,0		4,64		0,003						
						X_2X_3	-1,54		-1,43		0,202						
R ² ajustado= 65,16						R ² ajustado= 88,90						R ² ajustado= 85,14					

de interacción estadísticamente significativos.

La evaluación de los términos de interacción es fundamental para el análisis del sistema de formulación desarrollado por cuanto permite detectar relaciones de sinergia o antagonismo entre los componentes de una mezcla (Myers y Montgomery, 2002).

La aceptabilidad de los cubos de melón impregnados, reveló una relación de sinergia entre la proporción de parchita y agua utilizados en

la mezcla, dado el signo positivo del coeficiente de regresión para la interacción, en tanto que se revela una relación antagonica entre las proporciones de parchita y limón para la aceptabilidad del producto final.

Para los atributos parchita y limón las interacciones fueron de sinergia en tanto que para el dulzor del producto final se evidencia, como era de esperarse, una interacción antagonica entre las proporciones de parchita y limón en la mezcla.

Los componentes de la formulación tienen un efecto lineal o aditivo sobre la acidez del producto final siendo mucho mayor el efecto del limón en comparación con la parchita, dado que $\beta_2 > \beta_1$.

Por último, el efecto de los componentes de la formulación sobre el atributo melón del producto final es bien interesante por cuanto la adecuada combinación de parchita y limón en la formulación, en lugar de ocultar, pueden contribuir a resaltar el carácter

original de la fruta dada la sinergia de su relación en la mezcla. Si bien el establecimiento de una formulación final está en función de las características del mercado hacia el cual va dirigido el producto, se realizó una aproximación inicial tomando como punto de partida la aceptabilidad del producto (Figura 2).

Mediante la exploración de la superficie de aceptabilidad, se obtuvo que la formulación de una solución de impregna-

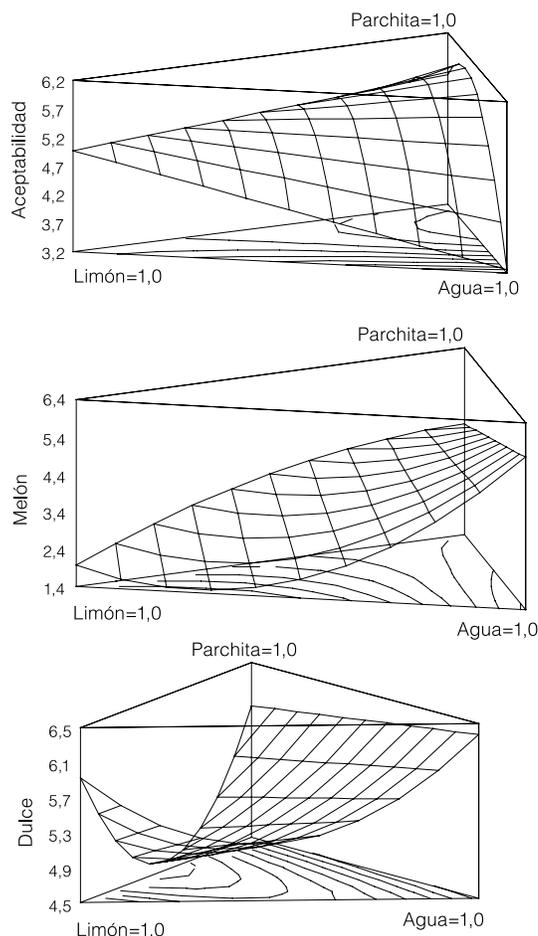


Figura 2. Superficies de respuesta del sistema de formulación de cubos de melón osmóticamente deshidratados para los atributos melón, dulce y la aceptabilidad del producto.

ción con 70% de parchita, 20% de agua y 10% de limón, y posterior ajuste de la concentración de sólidos solubles mediante la incorporación de sacarosa, hasta alcanzar las condiciones establecidas para el secado osmótico en la primera etapa. Ello permitió el desarrollo y optimización de la aceptabilidad sensorial de cubos de melón osmóticamente deshidratados y humedad intermedia ($a_w=0,87$). Dicha formulación constituye un producto final con un equilibrio entre ácido y dulce que representa un nivel intermedio de ambos atributos y un ligero predominio del atributo parchita sobre el limón (Figuras 2 y 3).

El producto, empacado en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenado en condiciones de refrigeración, exhibió conteos de aerobios

mesófilos, mohos y levaduras inferiores a 10 unidades formadoras de colonias durante los 16 días de almacenamiento.

El tipo de producto desarrollado constituye una propuesta de industrialización de materias primas de amplia aceptación en Venezuela y la formulación y optimización de un producto que puede ser utilizado como materia prima procesada para la fabricación de jugos y néctares tanto a nivel industrial como directamente por parte del consumidor y en servicios hoteleros y de alimentación institucional. Así mismo, la implementación de experimentos estadísticamente diseñados que conduzcan a la optimización de los recursos experimentales y a la consecución de objetivos claramente definidos, constituye un aporte para el desarrollo de productos

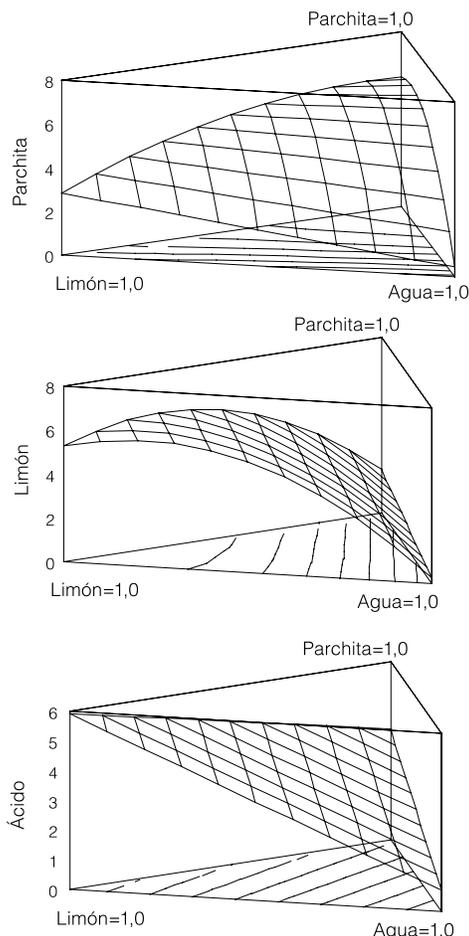


Figura 3. Superficies de respuesta del sistema de formulación de cubos de melón osmóticamente deshidratados, para los atributos parchita, limón y ácido.

y procesos en la industria de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar por el apoyo económico recibido a través del proyecto DI-CAI-001-03.

REFERENCIAS

- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Vol. 2. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU. 777 pp.
- Bidaisee G, Badrie N (2001) Osmotic dehydration of cashew apples (*Anacardium occidentale* L.): Quality evaluation of candied cashew apples. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 71-78.
- Cháfer M, González-Martínez C, Ortolá MD, Chiralt A, Fito P (2001) Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin

peels. *J. Food Proc. Eng.* 24: 273-289.

COVENIN (1976) *Alimentos. Determinación de Densidad Relativa*. N° 367-76. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (1977) *Alimentos. Determinación de Acidez Titulable*. N° 1151-77. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (1979) *Alimentos. Determinación de pH*. N° 1315-79. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (1983) *Frutas y Productos Derivados. Determinación de Sólidos Solubles por Refractometría*. N° 924-83. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (1987) *Alimentos. Método para Recuento de Aerobios Mesófilos*. N° 902-87. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (1990) *Método para Recuento de Mohos y Levaduras*. N° 1337-90. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Escrache I, García-Pinchi R, Andrés A, Fito P (2000) Osmotic dehydration of kiwifruit (*Actinidia chinensis*): Fluxes and mass transfer kinetics. *J. Food Proc. Eng.* 23: 191-205.

Millán FR, Ostojich Z (2006) Predicción mediante redes neuronales artificiales de la transferencia de masa en frutas osmóticamente deshidratadas. *Interciencia* 31: 206-210.

Montgomery DC (2001) *Design and Analysis of Experiments*. 5^a ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 472-500 pp.

Moyano PC, Vega RE, Bunger A, Garretón J, Osorio FA (2002) Effect of combined processes of osmotic dehydration and freezing on papaya preservation. *Food Sci. Technol. Int.* 8: 295-297.

Myers RH, Montgomery DC (2002) *Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 2^a ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 614-643 pp.

Panagiotou NM, Karathanos V, Maroulis ZB (1998) Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *Int. J. Food Sci. Technol.* 33: 267-284.

Salvatori D, Andrés A, Chiralt A, Fito P (1998) The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *J. Food Proc. Eng.* 21: 59-73.

Tapia MS, Alzamora SM, Welti J (1996) Combination of preservation factors applied to minimal processing of foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 36: 629-659.