



# El Método de Superficie Respuesta y la Programación Lineal en el desarrollo de un néctar mixto de alta aceptabilidad y mínimo costo

## Response Surface Method and Linear Programming in the development of mixed nectar of acceptability high and minimum cost

Enrique López Calderón<sup>1</sup>; Hubert Arteaga Miñano<sup>1</sup>; Publio Castro Santander<sup>1</sup>; Irene Nolasco Pérez<sup>2</sup>; Raúl Siche<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

<sup>2</sup> Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil.

Recibido 01 diciembre 2011; aceptado 23 octubre 2012

### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un néctar mixto de alta aceptabilidad y bajo costo. Para la obtención del néctar mixto se consideraron diferentes cantidades de maracuyá, pepino dulce, sacarosa, y completando el 100% con agua, siguiendo un diseño de dos etapas: screening (utilizando un diseño del tipo  $2^3 + 4$  puntos centrales) y optimización (utilizando un diseño del tipo  $2^2 + 2*2 + 4$  puntos centrales); etapas que permitieron explorar una formulación de alta aceptabilidad. Luego se utilizó la técnica de Programación Lineal para minimizar el costo del néctar de alta aceptabilidad. Resultado de todo este proceso se obtuvo un néctar mixto de aceptabilidad óptima (puntaje de 7), cuando la formulación está entre 9 y 14% de maracuyá, 4 y 5% de sacarosa, 73,5% de zumo de pepino y completando con agua hasta el 100%. La Programación Lineal permitió reducir el costo del néctar mixto con aceptabilidad general óptima en S/.174 para una producción de 1000 L/día.

**Palabras clave:** Sensorial, Optimización, Programación Lineal, Diseño Compuesto Central (DCCR).

### Abstract

The aim of this study was to develop a high acceptability mixed nectar and low cost. To obtain the nectar mixed considered different amounts of passion fruit, sweet pepino, sucrose, and completing 100% with water, following a two-stage design: screening (using a design of type  $2^3 + 4$  center points) and optimization (using a design of type  $2^2 + 2*2 + 4$  center points); stages that allow explore a high acceptability formulation. Then we used the technique of Linear Programming to minimize the cost of high acceptability nectar. Result of this process was obtained a mixed nectar optimal acceptability (score of 7), when the formulation is between 9 and 14% of passion fruit, 4 and 5% of sucrose, 73.5% of sweet pepino juice and filling with water to the 100%. Linear Programming possible reduced the cost of nectar mixed with optimal acceptability at S/.174 for a production of 1000 L/day.

**Keywords:** Sensorial, Optimization, Linear Programming, Central Composite Design (CCD).

### 1. Introducción

El mercado de jugos y néctares de fruta en el Perú se mantiene con una tendencia creciente, sustentado en la mayor demanda de bebidas naturales y nutricionales. Por el lado de la oferta, se aprecia una mayor competencia entre las empresas produc-

toras por diferenciarse y ofrecer productos innovadores y con mayor sabor, además de ser prácticos y de rápido consumo (Nano, 2012; Centrum, 2010). Esto ha permitido considerar a dicha industria como una de las más significativas en el negocio de los alimentos en el presente siglo, existiendo

\* Autor para correspondencia  
Email: [rsiche@unitru.edu.pe](mailto:rsiche@unitru.edu.pe) (R. Siche)

una preferencia por las bebidas mínimamente procesadas, lo que hace que la gente esté dispuesta a pagar un mayor valor por estos productos (OAC, 2006).

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton) es un descuidado cultivo andino que ha suscitado un interés creciente de los mercados de frutas exóticas (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2011). En el Perú, el Gobierno Regional de La Libertad (2006), en la Ordenanza Regional N° 014-2006-CR/RLL en su Artículo 1°, declara como Patrimonio Regional y base de la seguridad alimentaria de la población liberteña al “pepino dulce” (*Solanum muricatum* aiton). La maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) es una fruta tropical originaria de América (Jiménez *et al.*, 2011). Zeraik *et al.* (2011) sugieren que *Passiflora edulis* tiene potencial para ser utilizado como un alimento funcional o como una fuente natural de flavonoides.

Por otro lado, las bebidas mixtas de frutas presentan una serie de ventajas, como la posibilidad de combinación de diferentes aromas, sabores y componentes nutricionales (Matsuura *et al.*, 2004), aunque el costo fijo y variable de su elaboración podría incrementarse, aspecto que tendría que ser evaluado.

De esta manera, un nuevo producto, altamente aceptable y con costo mínimo, a base de pepino dulce y maracuyá fue desarrollado en este trabajo a fin de proponer una alternativa de industrialización para una fruta exótica de la región La Libertad (Perú). La máxima aceptabilidad del néctar mixto se realizó utilizando la Metodología de Superficie Respuesta (MSR) y el mínimo costo utilizando la Programación Lineal (PL).

## 2. Material y Métodos

### 2.1. Materia prima

La maracuyá y el pepino dulce utilizados en este trabajo procedían del distrito de Virú, La Libertad (Perú). Se eligieron frutas maduras, frescas y con características de textura homogénea. Las

frutas fueron caracterizadas, encontrando que los sólidos solubles para el pepino dulce fue de 8,5 °Brix, valor un poco bajo comparado con lo reportado por Amaya y Julca (2006) (10 - 12 °Brix). En el caso de la maracuyá se encontró un valor de 15 °Brix, valor un poco superior de lo reportado por De Sperisen (2004) (12 - 14 °Brix). Estas pequeñas diferencias pueden ser explicadas por la variabilidad de suelos en las que estas frutas son cultivadas y que definitivamente influyen en su composición. La acidez titulable para el pepino fue de 0,0642% y para el maracuyá 4,7368%. Ambos valores se encuentran dentro de los valores reportados por Kader (2007) (0,04% - 0,10% de acidez titulable para el pepino dulce) y De Sperisen (2004) (3,70% a 5,00% de acidez titulable para el maracuyá). Finalmente la pulpa de maracuyá mostró un pH de 3,05 y el zumo de pepino 8,5.

### 2.2. Diseño del proceso de pasteurización

Previo a la elaboración del néctar mixto, se diseñó el proceso de pasteurización tomando como referencia a *Bisochlamys Fulva*, microorganismo de mayor termo-resistencia en alimentos de alta acidez (pH menor a 4), el Po 93,3 °C requerido es de 3,5 minutos con un Z de 8,9°C (Ramón y Velásquez, 2007). La cantidad de néctar utilizado fue de 308 g. Para un envase de 17 cm de alto y 6 cm de ancho, se determinó el punto frío para una altura de 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7,5 cm de la base del envase, de acuerdo a la metodología usada por Cabeza (2010) Se determinó el valor Po para un tratamiento térmico en baño maría a 94 °C por 10 minutos, calculando las temperaturas minuto a minuto, los valores fueron tomados en el punto más frío del envase; luego se encontró la velocidad letal ( $L_i$ ) para cada tiempo:

$$L_i = 10^{\frac{(T_i - T_r)}{Z}}$$

Donde  $L_i$  es la velocidad letal;  $T_i$  es la temperatura en el punto más frío;  $T_r$  es la Temperatura de referencia;  $Z$  es el

incremento de temperatura para reducir 10 veces el valor D.

Finalmente, se multiplicó la sumatoria de las velocidades letales por el incremento de tiempo. Así, el valor  $P_0$  se calculó con la siguiente relación:

$$P_0 = \Delta t \times \sum Li$$

### 2.3. Elaboración del néctar mixto

Se cuantificó la materia prima determinando el rendimiento de cada variedad de fruta. Se seleccionó la fruta sana y con el grado de madurez adecuado. La fruta se lavó con chorros de agua y se desinfectó sumergiéndola en un tanque con agua clorada a 10 ppm. El maracuyá se cortó utilizando un cuchillo y se extrajo el contenido de la baya con una cuchara, depositándola en un recipiente. Luego se separó la pulpa de la pepa utilizando una licuadora con filtro. Por otro lado, el pepino dulce se cortó con un cuchillo en cuatro rodajas los cuales se bolearon con una cuchara para separar la pulpa de la cáscara. La extracción del zumo del pepino dulce de la fibra se hizo introduciendo la pulpa en la licuadora con filtro. En esta etapa se caracterizó la pulpa de maracuyá en un rango de (14-15 °Brix) y el zumo de pepino dulce (07-08 °Brix). Se definió la fórmula del néctar y pesó los diferentes ingredientes. La pulpa de maracuyá se mezcló muy bien con el zumo de pepino dulce, el agua y azúcar. Se procedió a calentar la mezcla hasta 60 °C. Se llenó hasta el tope del contenido de la botella, lentamente tratando de evitar la formación de espuma. Luego del envasado el néctar se calentó en baño maría a 94 °C por 10 minutos para destruir los microorganismos patógenos. Inmediatamente se colocó la tapa de forma manual. Se empleó tapas tipo "taparosca". Luego se invirtió el envase con el contenido. El néctar envasado en botellas de vidrio fue almacenado en refrigeración durante 10 a 15 días.

Las operaciones de extracción, refinado de la pulpa, pasteurización y envasado se realizaron en forma rápida ya que estas

pulpas se oxidan fácilmente y se altera el sabor. En el proceso se controló la temperatura y tiempo de pasteurización, así como la temperatura de enfriamiento. En el producto final se verificó el °Brix y pH final del néctar que son los que determinan el sabor y el grado de conservación del néctar. En la formulación también fue utilizado agua potable, pero sólo para completar al 100% el néctar en cada una de las formulaciones.

### 2.4. Diseño experimental para la optimización

Se realizaron 3 etapas.

I Etapa: Screening. En esta etapa se utilizó un diseño factorial del tipo:  $2^3 + 4$  puntos centrales, haciendo un total de 12 ensayos, teniendo como variables las concentraciones de Maracuyá (6-16%), Pepino dulce (72-75%) y sacarosa (0-8%). La respuesta evaluada fue la Aceptabilidad General (AG). Esta etapa se hizo con la finalidad de definir las variables independientes que tienen mayor efecto significativo en la AG.

II Etapa: Optimización. En esta II etapa se utilizó un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) para las dos variables que resultaron significativas (proporción de maracuyá y sacarosa), con un diseño del tipo:  $2^2 + 2*2 + 4$  puntos centrales, haciendo un total de 12 ensayos. La proporción de pepino dulce, para esta II etapa se consideró constante (73,5%) y la proporción de Sacarosa varió entre 2 y 6%, manteniendo en los mismos niveles la proporción de maracuyá. El modelo obtenido fue validado con: (a) La prueba de Fisher, considerando un valor de  $p=0,05$ ; y (b) el coeficiente de determinación ( $R^2 > 90\%$ ). Se construyó una superficie de respuesta (usando Statistica 5.5) logrando definir las regiones de interés y los valores óptimos de la formulación que resultaron con mejores niveles de aceptabilidad.

III Etapa: Validación y comprobación experimental. Finalmente, se realizaron cinco corridas experimentales con proporciones de maracuyá y sacarosa que optimizaban la aceptabilidad del néctar

mixto, con la finalidad de comprobar la bondad del modelo propuesto a través de un análisis de desvíos.

### 2.5. Evaluación sensorial

Las muestras pasteurizadas fueron evaluadas en cuanto a su aceptabilidad general por 30 jueces no entrenados. Fue utilizada la prueba Hedónica Estructurada indicando cuanto les agrada el producto en una escala de 9 puntos. Para el análisis de los datos, las categorías se convirtieron en puntajes numéricos del 1 al 9; donde 1 representó “me gusta muchísimo” y 9 “me disgusta muchísimo”.

### 2.6. Caracterización fisicoquímica y microbiológica

En dos fases: antes de ingresar al tratamiento térmico y a los 10 días después del tratamiento térmico al néctar con aceptabilidad óptima, se determinaron las siguientes características fisicoquímicas: pH (AOAC, 1995), acidez (AOAC, 1995), sólidos solubles (AOAC, 1995) y ácido ascórbico (vitamina C) (IAL, 1985).

Al néctar con aceptabilidad óptima se le realizó un análisis microbiológico a los 10 días después del tratamiento térmico, de acuerdo a lo estipulado en la NTP 203.110/2009 (Indecopi, 2009).

### 2.7. Evaluación del costo

Se procedió a seleccionar un rango de variación para los ingredientes mante-

niendo las condiciones de aceptación sensorial general similares, a fin de optimizar el costo de formulación del néctar mixto. Se utilizó el modulo Solver de Microsoft Excel 2007 para la siguiente ecuación de costo a ser minimizada:

$$Y = P1/X1 + P2/X2 + P3/X3 + P4/X4$$

Donde Y es el costo de 0,308 kg de Néctar Mixto; P1, P2, P3 y P4 es el Costo en S/ por kg de maracuyá, pepino dulce, sacarosa y agua, respectivamente; X1, X2, X3 y X4 son la cantidad de maracuyá, pepino dulce, sacarosa y agua, respectivamente.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Tratamiento térmico

Se encontró que el punto de calentamiento más lento se ubicó a 5,5 cm de la base del frasco, es decir a un tercio de la altura del envase; aunque un punto ubicado en el centro no difiere significativamente de este punto (Stumbo, 1973). El periodo de duración de todo el tratamiento térmico fue de 37 min, obteniendo un  $PO_{93,3}^{8,9} = 4,892$  con el que se garantiza un tratamiento térmico eficaz.

### 3.2. Optimización

En la Tabla 1 se aprecia el promedio de la aceptabilidad general para cada ensayo, además de datos de control como °Brix, Acidez y pH.

**Tabla 1**

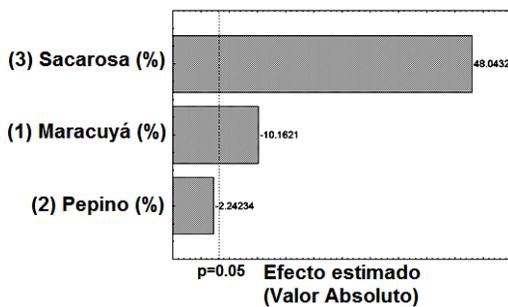
Aceptabilidad general y datos de control (I Etapa: Screening).

Ensayo	Variables independientes (%)			Datos de control			Respuesta
	Maracuyá	Pepino	Sacarosa	% Acidez	°Brix	pH	Aceptabilidad
1	6	72	0	0,400	8,6	3,89	4,30
2	16	72	0	0,721	9,7	3,5	3,50
3	6	75	0	0,402	8,5	3,93	4,13
4	16	75	0	0,719	10,1	3,52	3,27
5	6	72	8	0,376	21,0	3,93	6,40
6	16	72	8	0,712	22,3	3,58	6,27
7	6	75	8	0,448	20,8	4,05	6,47
8	16	75	8	0,716	22,7	3,62	6,13
9	11	73,5	4	0,543	14,7	3,70	7,07
10	11	73,5	4	0,547	14,7	3,70	7,17
11	11	73,5	4	0,544	14,7	3,68	7,00
12	11	73,5	4	0,547	14,7	3,70	7,13

Los ensayos 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11 y 12 cumplen con el criterio de °Brix establecido por Minagri (2010) para mezcla de néctares de frutas (máximo 20 °Brix), siendo los °Brix de los ensayos 5, 6, 7 y 8 superiores a este criterio.

En este diseño (screening), los efectos y los coeficientes se estiman con la mayor precisión posible, siendo mucho más efectivo que usar un diseño de optimización del modo directo, debido a que mediante una evaluación de efectos es posible discriminar ciertas variables que estadísticamente no influyan en una determinada respuesta.

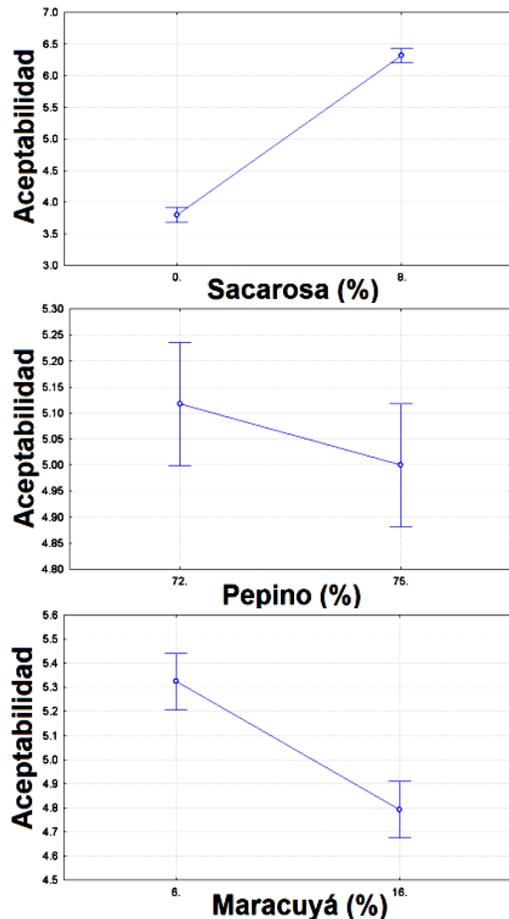
Como se puede observar en la Figura 1 la sacarosa y el maracuyá tienen efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la aceptabilidad. Por otro lado, a medida que la proporción de sacarosa se incrementa también aumenta la aceptabilidad. El maracuyá ejerce un efecto indirecto, a medida que se incrementa disminuye la aceptabilidad (Figura 2).



**Figura 1.** Diagrama de Pareto de los efectos estimados para la respuesta aceptabilidad.

Matsuura *et al.* (2004), para la aceptación sensorial de un néctar mixto de papaya, maracuyá y acerola, observaron que con una mayor proporción de pulpa de maracuyá se mantenían buenos resultados de aceptación sensorial, pero aumentando la cantidad de azúcar en la formulación. Esta afirmación se cumple parcialmente en nuestro trabajo. En los ensayos 1 y 6 (Tabla 1), en donde la proporción de pepino se mantiene fijo (72%), se observa que cuando la proporción de maracuyá pasa de 6 a 16% (aumenta) y la de sacarosa

de 0 a 8% (aumenta), la aceptabilidad también aumenta de 4,30 a 6,27 de puntuación.



**Figura 2.** Promedios marginales y límites de confianza al 95%.

Ahora, si observamos los ensayos 7 y 8, donde tanto la proporción de azúcar y de pepino se mantienen fijos (8 y 75%, respectivamente) y la proporción de maracuyá aumenta de 6 a 16%, la aceptabilidad disminuye ligeramente de 6,47 a 6,13. Es decir, en este último caso, un aumento en la proporción de maracuyá no necesariamente implica un aumento en la aceptabilidad, tiene mucho que ver la interacción de los otros componentes de la mezcla. De esta parte concluimos que el maracuyá y la sacarosa son variables significativas ( $p < 0,05$ ) y deben ser consideradas para un próximo planeamiento (optimización), dejando como

constante la proporción de pepino en 73,5%, debido que fue la proporción que permitió alcanzar las mejores puntuaciones de aceptabilidad. Además, en la próxima etapa se consideró lo recomendado por Indecopi (2009) (máximo 18 °Brix para un jugo). Para la etapa de optimización, la proporción de sacarosa fue modificada en un rango de 2 a 6% (antes 0 a 8%) ya que una proporción de 8% de sacarosa da valores de °Brix por encima de 18°Brix, manteniendo la proporción de maracuyá entre 6 y 16%.

En la Tabla 2 se observa que manteniendo la proporción de maracuyá, pero incrementando la proporción de sacarosa, ocurre un incremento en la aceptabilidad (ensayos 1 y 2; 3 y 4; 7 y 8). Estos resultados son similares a los que concluyó Matsuura *et al.* (2004). Sin embargo, incrementando la proporción de maracuyá, manteniendo la proporción de sacarosa constante (ensayos 5 y 6), se observa una ligera disminución de la aceptabilidad. Mejores niveles de aceptabilidad fueron obtenidos en los ensayos 9, 10, 11 y 12 (11% de maracuyá y 4% de sacarosa).

Los sólidos solubles en la etapa de optimización variaron entre 12 y 17 °Brix (Tabla 2), encontrándose todos los ensayos

dentro de los requisitos indicados en la NTP 203.110 (Indecopi, 2009). Así, el néctar obtenido en esta etapa (cualquier formulación) podría destinarse a consumidores con diferentes dietas calóricas. Puede observarse que el contenido de sólidos solubles totales de los productos formulados varía en función de la cantidad de azúcar añadido. Los niveles de acidez alcanzados son bajos (0,39% a 0,64%), lo que nos induce a recomendar este néctar para el consumo de niños y ancianos (Matsuura *et al.*, 2004).

Un modelo matemático de segundo orden fue obtenido para la respuesta Aceptabilidad general, cuyo coeficiente de regresión fue de 97,1% ( $R^2_{ajustado}=94,6\%$ ). Esto significa que el 97% de la aceptabilidad general es explicada por las proporciones de maracuyá (M en %) y sacarosa (S en %):

$$Aceptabilidad = -2,4 + 0,27*M - 0,03* \%M^2 + 3,8*S - 0,5*S^2 + 0,08*M*S \quad (R^2=97\%)$$

Con este modelo se obtiene un néctar mixto con máximo de aceptabilidad general (7,85) cuando utilizamos la formulación siguiente: 11,05% de Maracuyá, 4,62% de Sacarosa, 73,5% de Pepino Dulce y 10,83% de Agua.

**Tabla 2**

Datos de control y aceptabilidad general de la etapa de optimización.

Ensayo	Variables independientes (%)		Datos de control			Respuesta
	Maracuyá	Sacarosa	% Acidez	°Brix	pH	Aceptabilidad
1	7,46	2,59	0,4418	12,1	3,88	5,95
2	7,46	5,41	0,4141	16,3	3,93	6,83
3	14,54	2,59	0,6459	13,4	3,56	4,53
4	14,54	5,41	0,6240	17,2	3,59	7,05
5	6,00	4,00	0,3931	13,2	4,01	7,16
6	16,00	4,00	0,7136	15,1	3,57	7,05
7	11,00	2,00	0,5350	11,8	3,72	4,50
8	11,00	6,00	0,5171	17,4	3,66	7,10
9	11,00	4,00	0,5476	14,7	3,68	7,70
10	11,00	4,00	0,5279	14,7	3,7	7,65
11	11,00	4,00	0,5433	14,6	3,68	7,68
12	11,00	4,00	0,5487	14,8	3,68	7,60

Para reforzar la validez de este modelo fue realizado un análisis de varianza (Tabla 3). Se verifica que el  $F_{\text{calculado}}$  ( $F_{\text{cal}}$ ) es 9,22 veces mayor que el valor del  $F_{\text{tabulado}}$  ( $F_{\text{tab}}$ ), indicando que el modelo es altamente significativo para la aceptabilidad. Así, habiéndose demostrado la bondad de ajuste del modelo con el  $R^2$  y la prueba F, es posible construir superficies de respuesta (Figura 3).

**Tabla 3**

Análisis de varianza (prueba F) para la Aceptabilidad.

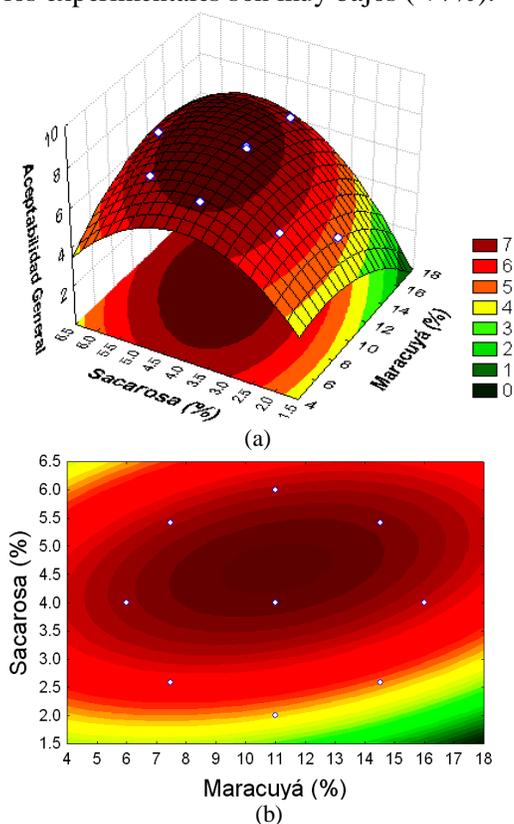
Factor	SC	GL	CM	$F_{\text{Calc}}$	$F_{\text{tab}}$
Modelo de Regresión	14,02	5	2,80	40,46	4,3874
Residuos	0,42	6	0,07		
Total	14,43	11	1,31		

SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios;  $F_{\text{cal}}$ : Valor F calculado;  $F_{\text{tab}}$ : Valor F de tabla

En la Figura 3a se observa que a medida que aumenta la proporción de maracuyá y sacarosa, la aceptabilidad también aumenta, aunque hasta cierta región. Los mejores valores de aceptabilidad (7) se dan en condiciones de 9 a 14% de maracuyá y entre 4 y 5% de sacarosa (Figura 3b).

Anteriormente se había indicado que el modelo matemático nos permite definir una formulación que da una aceptabilidad óptima (11,05% de Maracuyá, 4,62% de Sacarosa, 73,5% de Pepino Dulce y 10,83% de Agua), pero a través de la superficie de respuesta y curvas de contornos, en lugar de valores puntuales, permite definir intervalos para las proporciones de maracuyá (9 a 14%) y

sacarosa (4 a 5%) manteniendo la proporción de zumo de pepino en 73,5%. Siempre es mejor tener una formulación en intervalos que en valores fijos, ya que según los precios de mercado, podemos variar la formulación pero sin descuidar la aceptabilidad. Para reforzar aún más la validez de los resultados anteriores, en la Tabla 4 se observa que trabajando dentro de los intervalos óptimos sugeridos, los desvíos entre los resultados del modelo y los experimentales son muy bajos (< 7%).



**Figura 3.** Aceptabilidad general del néctar mixto en función de las proporciones de maracuyá y sacarosa: (a) Superficie de respuesta (b) Gráfica de contornos.

**Tabla 4**

Validación experimental y desvíos del modelo para la Aceptabilidad.

Ensayo	Variables (%)		Aceptabilidad		Desvío (%)
	Maracuyá	Sacarosa	Experimental	Modelo	
1	9,00	4,20	7,65	7,71	0,77
2	9,00	5,00	7,10	7,59	6,88
3	13,00	4,20	7,25	7,58	4,59
4	13,00	5,00	7,55	7,73	2,33
5	11,00	4,60	7,65	7,85	2,62

### 3.3. Características fisicoquímicas y microbiológicas del néctar mixto

Las características fisicoquímicas del néctar con formulación óptima antes del tratamiento térmico y 10 días después del tratamiento térmico se observan en la Tabla 5.

El contenido de vitamina C (6,7 mg) del néctar mixto en la presentación de 300 ml a los 10 días equivale al 15% de la ingesta diaria recomendada (45mg) por la FAO (2001). El °Brix, pH y Acidez están dentro de los parámetros adecuados para jugos mixtos (Indecopi, 2009).

En la Tabla 6 se observa los resultados del análisis microbiológico realizado al final del período de almacenamiento por 10 días a temperatura ambiente. Los resultados fueron negativos para coliformes, aunque habiéndose detectado presencia de bacterias mesófilas, mohos y levaduras, están dentro de los valores permisibles. La NTP 203.110/2009 (Indecopi, 2009) señala valores máximos de microorganismos aerobios (100 UFC/ml), mohos (10 UFC/ml) y levaduras (10 UFC/ml) después de la incubación en alimentos tratados por calor, para mantener su estabilidad durante el almacenamiento.

### 3.4. Determinación del costo mínimo

Para la determinación del menor costo se utilizaron cantidades variables entre

maracuyá (0,0277 a 0,0400 kg), sacarosa (0,0129 a 0,0154kg) y agua (0,0410 a 0,0262 kg) manteniendo constante al pepino (0,2234), llegándose a determinar la siguiente ecuación de costo a ser minimizada:

$$Y = 2,33 * X1 + 8,14 * X2 + 1,8 * X3 + 0,0063 * X4$$

Donde  $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$  y  $X4$  representan la cantidad de pepino, maracuyá, sacarosa y agua, respectivamente, para obtener 0,308kg de néctar mixto; cantidad que se obtuvo al calcular el punto estacionario de la superficie de respuesta. La unidad de los coeficientes es \$/.por kg.

La función de costo se minimizó mediante programación lineal tomando en cuenta las siguientes restricciones en el proceso iterativo:

$$X1 : X2 : X3 : X4 > 0; X1 = 0,22638 \text{ kg}; X2 < 0,04004 \text{ kg}; X2 > 0,02772 \text{ kg}; X3 < 0,012936 \text{ kg}; X3 > 0,0154 \text{ kg}; X4 > 0,02618 \text{ kg}; X4 < 0,040964 \text{ kg}; X1 + X2 + X3 + X4 = 0,308 \text{ kg}.$$

Luego, la formulación más económica alrededor del punto estacionario se obtuvo mediante la utilización de 73,5% de pepino dulce, 9% de maracuyá, 4,2% de sacarosa y 13,3% de agua. La reducción del costo de formulación se logró mediante la modificación de las proporciones de maracuyá, sacarosa y agua utilizadas en la mezcla (Tabla 7).

**Tabla 5**

Características fisicoquímicas del néctar con la formulación óptima antes de ingresar a tratamiento térmico y a los 10 días de procesado.

Néctar mixto elaborado con formulación óptima	°Brix	pH	Acidez (%)	Vitamina C (mg)
Antes de ingresar a tratamiento térmico	15,1	3,76	0,54943	7,2
10 días después del tratamiento térmico	15,4	3,69	0,54754	6,7

**Tabla 1**

Resultados del análisis microbiológico del néctar mixto.

Determinaciones microbiológicas	Resultado				
	M1	M2	M3	M4	M5
Escherichia coli (coliformes/mL)	Ausencia				
Bacterias aerobias mesófilas viables (ufc/mL)	97	91	95	86	85
Mohos (ufc/mL)	03	05	04	07	05
Levaduras (ufc/mL)	08	07	05	06	06

**Tabla 7**

Estimación del Costo del Néctar Mixto de Pepino con Maracuyá para tres niveles de producción industrial y tres periodos de tiempo.

Producción (t/día)	Costos de Formulación (miles S/.)		Reducción de Costo (miles S/.)		
	Fórmula 1	Fórmula 2	Día	Mes	Año
1	2,6976	2,5233	0,1743	5,2293	63,6230
5	13,4880	12,6165	0,8715	26,1464	318,1149
10	26,9760	25,2329	1,7431	52,2928	636,2298

Utilizando la programación lineal para el néctar mixto de maracuyá se obtuvo una reducción del costo de hasta S/. 636229,79 (212076,60 dólares) para una producción de 10 t/día minimizando la proporción de maracuyá y azúcar. Cabe precisar que este estudio no contempló en el cálculo otros factores que conforman los costos de producción.

La superficie respuesta nos da un rango óptimo de aceptabilidad (maracuyá 9 - 13%; sacarosa 4,2 - 5%) (Figura 3). Utilizando este rango óptimo de aceptabilidad en la Programación lineal para una producción de 1t/día de néctar mixto de maracuyá y pepino dulce se obtuvo un costo mínimo de S/. 2523,29, siendo la formulación: maracuyá 9%, sacarosa 4,2%, pepino dulce 73,5% y aforado con 13,3% de agua, confirmándose así lo manifestado por Ge *et al.* (2002), Zhou y Regentein (2004), quienes argumentan que la optimización mediante superficie respuesta le permite al tecnólogo en alimentos minimizar y maximizar costos.

#### 4. Conclusiones

Se obtuvo una aceptabilidad óptima (puntaje de 7) en el néctar mixto, cuando la formulación estuvo entre 9 y 14% de maracuyá, 4 y 5% de sacarosa, 73,5% de zumo de pepino y completando con agua hasta el 100%. Además, se comprobó que el producto pasteurizado y almacenado a temperatura ambiente cumple, físico-química y microbiológicamente, con los requerimientos normativos para su comercialización. Finalmente, la Programación Lineal permitió, reducir el costo

del néctar mixto de maracuyá y pepino dulce con aceptabilidad general óptima en hasta S/. 174 para una producción de 1000 L/día.

#### Referencias bibliográficas

- Amaya, J.; Julca, J. 2006. Pepino dulce (*Solanum muricatum* Aiton). Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente y Gobierno Regional La Libertad. Trujillo Perú.
- AOAC (1995). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
- Cabeza, E. 2010. Determinación del punto frío en productos fluidos y semifluidos. Manual de Prácticas de Termobacteriología – Actividad 2. Universidad de Pamplona, Colombia.
- Centrum. 2010. Mercado de Jugos de Fruta. Centro de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: [http://www.centrum.pucp.edu.pe/centrumaldia/mercados/mercado/mercado\\_jugo.html](http://www.centrum.pucp.edu.pe/centrumaldia/mercados/mercado/mercado_jugo.html)
- De Sperisen, Elizabeth. 2004. Estudio oportunidad de negocio: maracuyá. Asociación Gremial de Exportadores de Productos no Tradicionales-AGEXPRONT. Guatemala.
- FAO. 2001. Human Vitamin and Mineral Requirements. Report 07a Joint FAO/OMS Expert Consultation Bangkok, Thailand.
- Ge, Y.; Gi, Y.; Yan, H.; Chen, Y.; Cai, T. 2002. Optimization of the supercritical fluid extraction of natural vitamin E from wheat germ using response surface methodology. *J. Food Sci.* 67(1): 239 – 243.
- Gobierno Regional de La Libertad. 2006. Ordenanza Regional N° 014-2006-CR/RLL. Disponible en: <http://www.regionlalibertad.gob.pe/web/opciones/pdfs/Ordenanza Regional N° 014-2006.pdf>
- IAL -Instituto Adolfo Lutz. 1985. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed., São Paulo. 533p.
- Indecopi. 2009. NTP 203.110:2009. Jugos, néctares y bebidas de fruta. Requisitos. 1ª Edición. Perú.
- Jiménez, A.M.; Sierra, C.A.; Rodríguez-Pulido, F.J.; González-Miret, M.L.; Heredia, F.J.; Osorio, C. 2011. Physicochemical characterisation of gulupa (*Passiflora edulis* Sims. fo *edulis*) fruit from Colombia during the ripening. *Food Research International* 44 (7): 1912 – 1918.
- Kader, A.A. 2007. Factores de seguridad y calidad: definición y evaluación para productos hortofrutícolas frescos. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University

- of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA. pp. 315 – 322.
- Matsuura, F.C.A.U.; Folegatti, M.L.; Cardoso, R.L.; Ferreira, D.C. 2004. Sensory acceptance of mixed nectar of papaya, passion fruit and acerola, *Scientia Agricola* 61 (6): 604 – 608.
- Nano, P. 2012. Mercado de bebidas no alcohólicas crecería 8% durante el 2012. Reporte Semanal. Departamento de Estudios Económicos Scotiabank 13(17): 5 – 6.
- OAC – Observatorio Agrociudades Colombia. 2006. Agroindustria y Competitividad. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Editorial Mundo 3D. Bogotá, Colombia.
- Ramón, C.; Velásquez, L. 2007. Comparación de la temperatura-tiempo de retención de pasteurización y su efecto en la concentración de vitamina C en el zumo de naranja. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (E.S.P.A.M). Ecuador.
- Rodríguez-Burruezo A.; Prohens J.; Fita, A.M. 2011. Breeding strategies for improving the performance and fruit quality of the pepino (*Solanum muricatum*): A model for the enhancement of underutilized exotic fruits. *Food Research International* 44(7): 1927 – 1935.
- Stumbo, C.R. 1973. *Thermobacteriology in food processing*. Academic Press, 2da Edición. 329 pp. New York.
- Zeraik, M.L.; Serteyn, D.; Deby-Dupont, G.; Wauters, J.N.; Tits, M.; Yariwake, J.H.; Angenot, L.; Franck, T. 2011. Evaluation of the antioxidant activity of passion fruit (*Passiflora edulis* and *Passiflora alata*) extracts on stimulated neutrophils and myeloperoxidase activity assays. *Food Chemistry* 128(2): 259 – 265.
- Zhou, P.; Regenstein, J.M. 2004. Optimization of extraction conditions for pollock skin gelatin. *J. Food Sci* 69(5): 393 – 398.