



Determinación de las condiciones óptimas de  
procesamiento para la deshidratación  
del mango (*Mangifera Indica L.*):  
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)  
*Determination of optimal process conditions for  
dehydration of Mango (Mangifera Indica L.):  
Analytical Hierarchy Process (AHP)*

ALICIA HARRAR DE DIENES<sup>1</sup>

[adienes@unimet.edu.ve](mailto:adienes@unimet.edu.ve)

Universidad Metropolitana

HENRIQUE ANTONIO MACHADO BALL<sup>2</sup>

[henriquemachadoball@gmail.com](mailto:henriquemachadoball@gmail.com)

Gerente de Servicios Generales  
y Mantenimiento de Eurociencia

Recibido: 19/06/2012

Aceptado: 03/12/2012

## Resumen

En este trabajo se determinaron las condiciones óptimas de procesamiento para la deshidratación de mango mediante la aplicación del método denominado proceso analítico jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP). Los criterios de evaluación se basaron en factores de calidad del producto termi-

---

<sup>1</sup> Ingeniero Químico (1975), Magíster en Ciencia de los Alimentos (1979), Doctora en Proyectos de Ingeniería (2010). Autora de más de 40 trabajos de investigación en alimentos. Profesora titular en la Unimet.

<sup>2</sup> Ingeniero químico (2012), gerente de Servicios Generales y Mantenimiento de EUROCIENCIA en la actualidad.



nado: color, sabor, textura y firmeza. Las alternativas fueron definidas como una combinación de cuatro variables de proceso (espesor de la muestra, velocidad y temperatura del aire, y tiempo de secado), a tres niveles cada una. Estas variables fueron definidas mediante revisión bibliográfica, consulta con expertos y pruebas preliminares. Para la etapa experimental se seleccionaron nueve tratamientos (alternativas) a partir de un diseño experimental ortogonal 3<sup>4</sup>. Se procesó la fruta en un secador de túnel a estas condiciones, y las muestras fueron evaluadas por un grupo de expertos que incluyó profesionales de la industria de alimentos, nutricionistas, profesores universitarios y médicos. Se procesaron las encuestas utilizando el programa EC 2000. El criterio que obtuvo la máxima ponderación fue el sabor, y las condiciones de procesamiento para la alternativa preferida fueron: temperatura del aire 55 °C, velocidad 1 m/s, tiempo de secado 14 h, y espesor del alimento 6 mm. Se concluyó que este método constituye una herramienta apropiada para la toma de decisiones en los procesos de deshidratación de frutas en la industria alimenticia.

**Palabras clave:** Deshidratación de mango, decisión multicriterio, AHP.

## Abstract

In this research optimal processing conditions were established for the dehydration of mango through the application of AHP. Evaluation Criteria were established based on quality attributes of the finished product: color, flavor, texture and firmness. Alternatives were defined as a combination of 4 process variables (slab thickness, air temperature and speed, and drying time), each at 3 levels. These variables were chosen through literature search, discussions with experts and preliminary tests. A 3x4 orthogonal experimental design was planned with 9 treatments (alternatives). The fruit slabs were processed in a tunnel dryer at the various conditions and dried samples were evaluated by a group of experts that included food industry professionals, nutritionists, academic personnel and health practitioners. The criteria with maximum weighing was flavor and the most preferred drying combination conditions were 55°C air drying temperature, 1m/s air speed, 14h drying time and 6 mm slab thickness. We conclude that this methods constitutes a suitable tool for decision making in the dehydration of fruit for the food industry.

**Key words:** Mango dehydration, Multicriteria Decission. AHP.



## Introducción

El mango es una de las frutas más populares y de mayor producción en países tropicales. El mango es nativo de Asia, especialmente de Burma y de la India. La variedad comercial requiere 13% de sólidos solubles (Torres et al., 2006). La variedad *Mangífera indica* L. es considerada una de las tres o cuatro mejores variedades por su extraordinario olor, color, sabor y textura, no sólo para consumo fresco sino también como ingrediente en ensaladas de frutas, helados, mermeladas y ponqués. En Venezuela, es un fruto estacional que se da en los meses de mayo y junio principalmente. Una sustancial parte de la cosecha se pierde por el inadecuado uso de métodos de preservación. La deshidratación constituye una alternativa para aumentar su vida útil y con ello hacer más fácil su comercialización. El método tradicional de secado es por convección de aire, pero en ocasiones se obtiene una textura indeseable, color pobre, pérdida de sustancias responsables del olor y sabor, y de nutrientes. (Giraldo et al., 2006). Debido a esto se hace necesario determinar las condiciones óptimas de deshidratación para obtener un producto de excelente calidad. Hay en la literatura numerosos trabajos sobre deshidratación de frutas y vegetales. Varios autores deshidrataron frutas en forma de láminas en secadores de cabina y establecieron las condiciones de operación (Martínez, 2005; Akpiner y Dincer, 2005). Dissa et al. (2008) estudiaron las características de la deshidratación de mango en un secador de cabina con convección de aire. Torres et al., (2006) estudiaron la rehidratación de mangos procesados por deshidratación osmótica. Goyal et al. (2006) estudiaron la deshidratación de mango con un pretratamiento de blanqueo. Giraldo et al. (2007) indicaron cómo afectaba la deshidratación osmótica la rehidratación del mango. Kaya et al. (2010) determinaron cómo afectan las condiciones de secado la descomposición de la vitamina C en kiwi. Koyuncu et al. (2007) determinaron cómo afectan las características del secado y los requerimientos de energía la calidad de cerezas deshidratadas. Leite et al. (2007) indicaron el efecto de la temperatura de secado en bananas deshidratadas. Por lo que se deduce que se pueden obtener productos de buena calidad, siempre que se seleccione la materia prima, se controlen los parámetros de tamaño,

variedad e índice de madurez y las condiciones de deshidratación. Actualmente existen en Venezuela varios productores de mango deshidratado en forma artesanal. Sin embargo, no ha sido publicada una metodología experimental que permita optimizar las condiciones de proceso para la industrialización de este rubro y la producción de mango deshidratado de alta calidad. En este proceso interviene una enorme cantidad de factores (variables). Por un lado, depende en gran medida de la calidad de la materia prima (especies de mango, madurez, tamaño) y de las condiciones de procesamiento (equipos, condiciones experimentales: tiempo de secado, temperatura, velocidad y humedad relativa del aire, configuración geométrica de las piezas a secar, y otras). Adicionalmente existe un conjunto amplio de criterios de calidad y aceptabilidad físico-química y organolépticas del producto terminado que sirven de base para realizar estas evaluaciones (Fogliato y Albin, 2003; Huang et al., 2009). El utilizar métodos de decisión multicriterio (MDDS) ha sido sugerido por varios autores (Bevilacqua et al., 2004; Martínez, 2005) en la industria de los alimentos, como una forma de sistematizar y proveer un marco de referencia formal a los expertos en procesamiento de alimentos para facilitarles este proceso de toma de decisión.

## Metodología de investigación

El enfoque de la investigación consistió en lograr establecer un conjunto de variables de proceso que constituyeron las alternativas que se consideraron para su ordenamiento jerárquico a través del AHP. Para ello las alternativas fueron definidas como valores específicos de las variables de proceso involucradas en la deshidratación del mango. Con la finalidad de identificar estas variables se realizó una investigación bibliográfica y consultas a expertos. Una vez identificadas estas variables (humedad relativa del aire, espesor de la fruta, temperatura y velocidad del aire, etc.) se llevaron a cabo corridas preliminares de secado del mango para obtener los rangos de operación de cada una de las variables con los que se obtuvo un producto de calidad aceptable. Para identificar los valores específicos de estas variables que constituirían las alterna-



tivas, se realizó un diseño experimental. La selección de los criterios a utilizar para la evaluación de las alternativas se realizó mediante una investigación bibliográfica y consulta con expertos.

## Materiales y equipos

Se utilizaron mangos de la variedad —Kent o muy similar con un peso promedio de 400 g por mango. Fueron adquiridos en el mercado local de Caracas a través del mismo proveedor, para asegurar una variedad única en la especie de la fruta. Se escogieron especímenes recién maduros, sin daños en el exterior. Las frutas fueron lavadas, desconchadas y rebanadas. Las muestras en forma de láminas fueron deshidratadas en un secador de bandejas marca Armfield UOP-8. Para la obtención de los valores experimentales se adaptó una cámara de video marca Fotosmart a una computadora portátil marca Dell M1210 que fue programada para registrar la pérdida de agua en forma continua utilizando el programa Video Capturix, de Capturix Software Technologies. Una vez transcurrido el tiempo de secado, las muestras fueron empacadas en bolsas de polipropileno y selladas para preservar su vida útil.

## Diseño experimental

Las variables de secado y sus niveles fueron establecidos, como se comentó anteriormente, mediante la revisión de trabajos previos y pruebas experimentales (Tabla 1). La combinación de cuatro variables con tres niveles cada una generó un diseño  $3^4$  que da un total de 81 combinaciones (Hicks, 1973). En vista del gran número de combinaciones se realizó un diseño ortogonal  $L_9 (3^4)$ , con un total de nueve tratamientos (alternativas) que se muestran en la Tabla 2. En la Tabla 3 se encuentra una descripción detallada de los nueve tratamientos (alternativas), así como los niveles de cada una de las variables.

**TABLA 1**  
**VARIABLES SELECCIONADAS Y SUS NIVELES**  
**PARA LA DESHIDRATACIÓN DE MANGO**

| Variable                                   | Niveles   | Observaciones  |
|--|---|--|
| X <sub>1</sub> . Temperatura del aire (°C) | 45 (a <sub>1</sub> )<br>50 (a <sub>2</sub> )<br>55 (a <sub>3</sub> )  | Se tuvo como limitación la máxima temperatura alcanzada con la resistencia eléctrica del secador. A las velocidades de aire utilizadas se logró alcanzar 55 °C (Dissa et al., 2008)  |
| X <sub>2</sub> . Tiempo de residencia (h)  | 10 (b <sub>1</sub> )<br>12 (b <sub>2</sub> )<br>14 (b <sub>3</sub> )  | En pruebas preliminares se obtuvo que a 10 horas se logró un 70% de deshidratación y que a 14 horas la rata de secado era prácticamente 0.   |
| X <sub>3</sub> . Velocidad del aire (m/s)  | 0,75 (c <sub>1</sub> )<br>1,10 (c <sub>2</sub> )<br>1,25 (c <sub>3</sub> )  | Akpinar y Dincer (2005) recomiendan que para el secado de frutas se debe utilizar una velocidad no inferior a 0,5 m/s y no mayor de 1,5 m/s. La máxima velocidad alcanzada por el aire en el equipo utilizado es 1,25 m/s.   |
| X <sub>4</sub> . Espesor (m)               | 6*10 <sup>-3</sup> (d <sub>1</sub> )<br>8*10 <sup>-3</sup> (d <sub>2</sub> )<br>10*10 <sup>-3</sup> (d <sub>3</sub> ) | En pruebas experimentales se determinó que el espesor no podía ser inferior a 6x10 <sup>-3</sup> m debido a que la rodaja se reseca y se asemeja a una corteza dura y poco flexible. Dissa et al., 2008 recomiendan espesores de 2,5x10 <sup>-3</sup> a 10x10 <sup>-3</sup> m. |

**Fuente:** elaboración propia.



**TABLA 2**  
**DISEÑO ORTOGONAL L<sup>9</sup>**

| Tratamientos | Variable X <sub>1</sub> | Variable X <sub>2</sub> | Variable X <sub>3</sub> | Variable X <sub>4</sub> |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1            | a <sub>1</sub>          | b <sub>1</sub>          | c <sub>1</sub>          | d <sub>1</sub>          |
| 2            | a <sub>1</sub>          | b <sub>2</sub>          | c <sub>2</sub>          | d <sub>2</sub>          |
| 3            | a <sub>1</sub>          | b <sub>3</sub>          | c <sub>3</sub>          | d <sub>3</sub>          |
| 4            | a <sub>2</sub>          | b <sub>1</sub>          | c <sub>2</sub>          | d <sub>3</sub>          |
| 5            | a <sub>2</sub>          | b <sub>2</sub>          | c <sub>3</sub>          | d <sub>1</sub>          |
| 6            | a <sub>2</sub>          | b <sub>3</sub>          | c <sub>1</sub>          | d <sub>2</sub>          |
| 7            | a <sub>3</sub>          | b <sub>1</sub>          | c <sub>3</sub>          | d <sub>2</sub>          |
| 8            | a <sub>3</sub>          | b <sub>2</sub>          | c <sub>1</sub>          | d <sub>3</sub>          |
| 9            | a <sub>3</sub>          | b <sub>3</sub>          | c <sub>2</sub>          | d <sub>1</sub>          |

Fuente: elaboración propia.

**TABLA 3**  
**DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS (ALTERNATIVAS)**

| Alternativa | Temperatura (°C) | Tiempo (h) | Velocidad del aire (m/s) | Espesor (m)         |
|-------------|------------------|------------|--------------------------|---------------------|
| 1           | 45               | 10         | 0,75                     | 6*10 <sup>-3</sup>  |
| 2           | 45               | 12         | 1,00                     | 8*10 <sup>-3</sup>  |
| 3           | 45               | 14         | 1,25                     | 10*10 <sup>-3</sup> |
| 4           | 50               | 10         | 1,00                     | 10*10 <sup>-3</sup> |
| 5           | 50               | 12         | 1,25                     | 6*10 <sup>-3</sup>  |
| 6           | 50               | 14         | 0,75                     | 8*10 <sup>-3</sup>  |
| 7           | 55               | 10         | 1,25                     | 8*10 <sup>-3</sup>  |
| 8           | 55               | 12         | 0,75                     | 10*10 <sup>-3</sup> |
| 9           | 55               | 14         | 1,00                     | 6*10 <sup>-3</sup>  |

Fuente: elaboración propia.

## AHP

Para determinar el tratamiento óptimo de la deshidratación de mango mediante AHP se siguieron los pasos recomendados en la literatura (Saaty, 2000; Aragonés y García, 2001). En primer lugar es necesario definir el foco del problema, seleccionar el grupo de expertos, definir criterios y alternativas, diseñar las encuestas, recoger la información de los expertos, para finalmente procesar la información y obtener el ordenamiento de las alternativas.

### *Definición del problema:*

El objetivo del estudio o meta principal consiste en establecer un ordenamiento jerárquico de las preferencias de expertos entre distintas combinaciones de niveles de variables de proceso para la deshidratación del mango, con el fin de seleccionar las condiciones óptimas de procesamiento.

### *Selección de expertos:*

El seleccionar un grupo de expertos adecuado para ayudar al decisor a tomar la decisión es fundamental (García-Melón et al., 2008). La función del grupo de expertos es colaborar con la selección de criterios, ponderar los criterios y evaluar las alternativas. Para la selección de las variables óptimas de secado se escogieron profesionales de diversas áreas tanto de la salud como de la industria alimenticia. Las categorías seleccionadas fueron:

- **Nutricionistas:** (1) proveen la experticia para determinar la función que tienen los diferentes ingredientes que conforman una dieta. Son conocedores de los requerimientos dietéticos de los diferentes grupos de consumidores, lo que los hace competentes para evaluar objetivamente los mejores productos deshidratados.
- **Gerentes del sector industrial:** los profesionales del sector industrial nos pudieron dar la visión de los aspectos tecnológicos relacionados con el producto.
- **Profesores universitarios:** participaron científicos con experiencia en tecnología y ciencia de los alimentos, los cuales están capacita-



dos para interpretar los datos desde un punto de vista de ciencia básica y así proveer una visión más profunda del problema.

- **Sector culinario:** estos profesionales tienen amplio entrenamiento en el reconocimiento de las texturas, sabores y características sensoriales, así como la apariencia estética de los alimentos preparados, por lo cual poseen un importante punto de vista acerca de la calidad del producto final.
- **Gerente general analista de laboratorio:** poseen amplia experiencia en la evaluación de la calidad fisicoquímica y organoléptica y están en capacidad de efectuar comparaciones objetivas de la calidad de diferentes productos alimenticios.

En este estudio participaron un nutricionista, dos gerentes del sector industrial, dos profesores universitarios, un profesional del sector culinario y un gerente de un laboratorio analítico de alimentos.

### *Selección de criterios:*

Se realizó una amplia revisión bibliográfica para seleccionar y justificar una serie de criterios que se adaptaran al propósito de este estudio. Existen diversos enfoques al problema en la bibliografía, de los cuales mencionaremos unos pocos por considerarlos más relevantes y precisos. La calidad de frutas y vegetales es un término amplio que incluye las propiedades físicas, el sabor, y compuestos relacionados con salud. Algunos autores (Osorio et al., 2007; Rouphael et al., 2010) describen la importancia de utilizar parámetros de color como criterio en la evaluación de resultados en su trabajo sobre el procesamiento de frutas con soluciones osmóticas; se recomienda obtener altos niveles de color como criterio para la evaluación. Zhenfeng et al. (2011) tomaron en cuenta la variación en el color y olor de manzanas sometidas a deshidratación en microondas. Serimeseli (2011) observó la variación en el color, coeficiente de difusividad y rehidratación de cilantro deshidratado por microondas. La calidad del proceso también es importante para lograr el cumplimiento de especificaciones estrictas en términos de color, sabor, textura, preservación de nutrientes, etcétera, así como de lograr que el producto esté

conforme con las especificaciones definidas. Se debe tomar en cuenta que los criterios elegidos se basan en la habilidad de los expertos de distinguir y apreciar las muestras cualitativamente. Existen muchos criterios de calidad que requieren de un análisis químico o microbiológico para determinar su calidad. En este trabajo sólo se utilizan aquellos que los expertos puedan determinar utilizando únicamente sus cinco sentidos y su experiencia. A continuación se muestra la lista de criterios, con descripción obtenida a raíz de estas y otras referencias.

- C1 Intensidad de color
- C2 Sabor: degustación y aroma
- C3 Textura: consistencia en la boca
- C4 Firmeza: rigidez al tacto

### ***Selección de alternativas:***

Como se mencionó anteriormente, las alternativas fueron seleccionadas mediante un diseño ortogonal  $3^4$  (Tabla 3), después de haber realizado una serie de corridas experimentales a varios niveles con las variables de proceso que se definieron basadas en una revisión bibliográfica y conversaciones con expertos.

### ***Estructuración del problema de decisión como un modelo jerárquico***

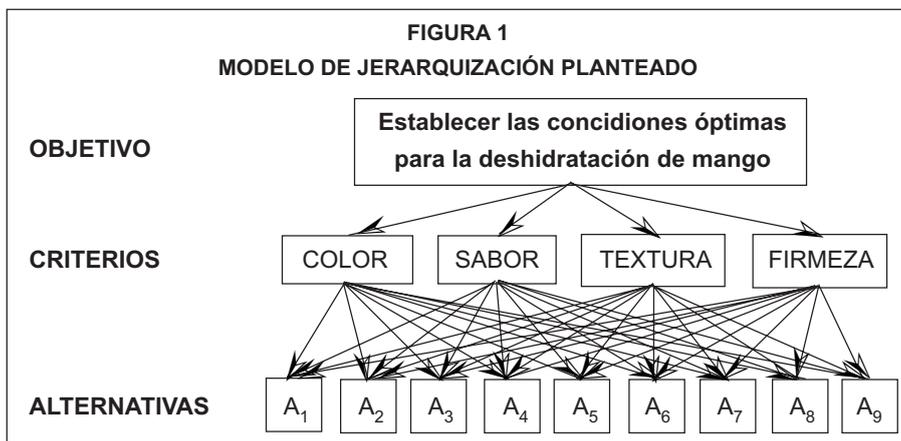
Se consideraron tres niveles jerárquicos. El vértice de la jerarquía está ocupado por el objetivo global del trabajo, que es la *Ordenación de las Alternativas*. El siguiente nivel lo constituyen los criterios y el último nivel son las alternativas. La Figura 1 muestra la estructura jerárquica del problema planteado.

### ***Procesamiento de los datos***

Se aplicaron dos encuestas a los seis expertos, una para la ponderación de los criterios y otra para la comparación pareada de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios. Se introdujo la data para ser



procesada por el programa Expert Choice 2000 y se obtuvo la ponderación de los criterios y la jerarquización de las alternativas. Se realizó un análisis de sensibilidad para cada criterio de acuerdo con el resultado del grupo de expertos.



Fuente: elaboración propia.

Siendo:

**A<sub>1</sub>** (Temperatura del aire: 45 °C; Tiempo de secado: 10 h; velocidad del aire: 0,75 m/s; espesor: 6x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>2</sub>** (Temperatura del aire: 45 °C; Tiempo de secado: 12 h; velocidad del aire: 1,00 m/s; espesor: 8x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>3</sub>** (Temperatura del aire: 45 °C; Tiempo de secado: 14 h; velocidad del aire: 1,25 m/s; espesor: 10x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>4</sub>** (Temperatura del aire: 50 °C; Tiempo de secado: 10 h; velocidad del aire: 1,00 m/s; espesor: 10x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>5</sub>** (Temperatura del aire: 50 °C; Tiempo de secado: 12 h; velocidad del aire: 1,25 m/s; espesor: 6x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>6</sub>** (Temperatura del aire: 50 °C; Tiempo de secado: 14 h; velocidad del aire: 0,75 m/s; espesor: 8x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>7</sub>** (Temperatura del aire: 55 °C; Tiempo de secado: 10 h; velocidad del aire: 1,25 m/s; espesor: 8x10<sup>-3</sup> m)

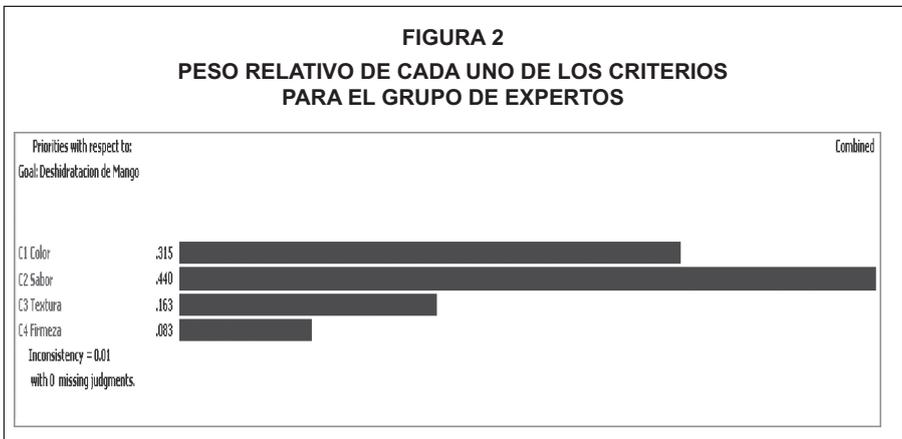
**A<sub>8</sub>** (Temperatura del aire: 55 °C; Tiempo de secado: 12 h; velocidad del aire: 0,75 m/s; espesor: 10x10<sup>-3</sup> m)

**A<sub>9</sub>** (Temperatura del aire: 55 °C; Tiempo de secado: 14 h; velocidad del aire: 1,00 m/s; espesor: 6x10<sup>-3</sup> m)

## Resultados y discusión

### *Ponderación de criterios*

En la Figura 2 se observa el resultado del cálculo de los valores correspondientes al peso relativo de cada uno de los criterios para el grupo de expertos obtenidos a través del programa Expert Choice 2000.



Fuente: EC 2000®

El sabor (C2) tuvo la máxima valoración por parte del grupo de expertos, con un peso relativo de 0,440. Seguido de éste se encontró que el color (C1), con una ponderación de 0,315. El tercer nivel de importancia lo obtuvo la textura (C3), con un valor ponderado de 0,163; y por último la firmeza (C4), con una importancia relativamente baja de 0,083. El criterio sabor (C2) obtuvo el mayor peso de importancia a la hora de analizar la calidad de una muestra de mango seco. Este resultado era de esperarse ya que se trata de un alimento, y por lo tanto el sentido del gusto y el olfato son de los principales factores que afectan al momento de ingerirlo.

Con respecto a la ponderación de los criterios por los decisores, se pudo discutir que existen dos criterios de evaluación que tienen un papel



importante a la hora de selección de estas alternativas, que son el color y el sabor. Esto lo corrobora la bibliografía consultada anteriormente (Osorio et al., 2009; Rouphael et al., 2010).

En la Tabla 4 se presenta el ordenamiento en la ponderación de los criterios en orden decreciente para el grupo de expertos, así como los valores de cada uno de los decisores. Están resaltados en negro los criterios que ocuparon los primeros lugares para cada uno de los decisores, y en cursiva los criterios que ocuparon el segundo lugar.

Se aprecia en la Tabla 4 que cuatro de los decisores (P1, P2, P4) adoptaron el criterio C2 (sabor) en primera opción, el decisor P4 lo adoptó como tercera opción y el P6 como segunda, lo que demuestra la consistencia en el juicio y la importancia asignada a este criterio. Igualmente el criterio C1 (color), que ocupó la segunda posición en el grupo de expertos, fue seleccionado en segundo lugar por cinco de los decisores (P1, P2, P3, P4, P6).

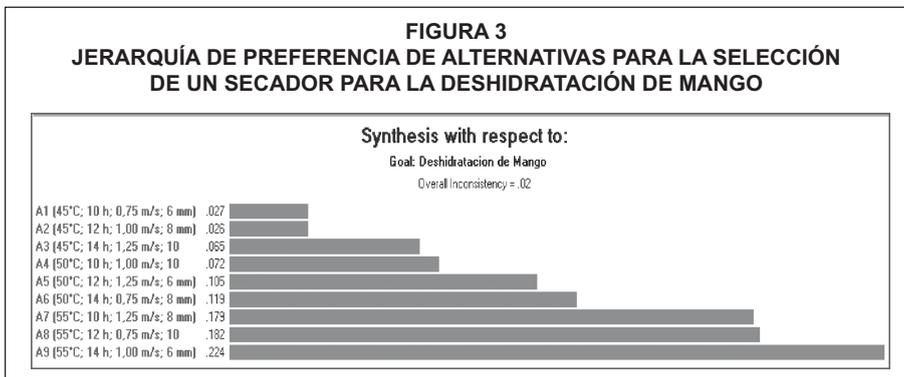
**TABLA 4**  
**PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL MANGO**  
**POR EXPERTO Y PARA EL GRUPO DE EXPERTOS**

| <b>Criterio</b>  | <b>Grupo de expertos</b> | <b>P1</b>    | <b>P2</b>    | <b>P3</b>    | <b>P4</b>    | <b>P5</b> | <b>P6</b>    |
|--|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|
| C1 (color)   | <i>0,315</i>             | <i>0,295</i> | <i>0,252</i> | <b>0,505</b> | 0,109        | 0,250     | <b>0,514</b> |
| C2 (sabor)   | <b>0,440</b>             | <b>0,512</b> | <b>0,632</b> | <i>0,288</i> | <b>0,619</b> | 0,250     | <i>0,278</i> |
| C3 (Textura)   | 0,163                    | 0,100        | 0,075        | 0,143        | <i>0,220</i> | 0,250     | 0,159        |
| C4 (firmeza)   | 0,083                    | 0,093        | 0,041        | 0,064        | 0,052        | 0,250     | 0,050        |
| Siendo P1, P2,... P6, experto 1, experto 2,..... experto 6 |                          |              |              |              |              |           |              |

Fuente: EC 2000®.

### *Resolución analítica, índice de ordenación de las alternativas*

Para el ordenamiento de las alternativas se elaboró una encuesta en la que se sometió a evaluación por cada uno de los decisores una comparación pareada de todas las alternativas para cada uno de los criterios. En la Figura 3 se observa el ordenamiento de las alternativas para el grupo de expertos.



Fuente: EC 2000®.

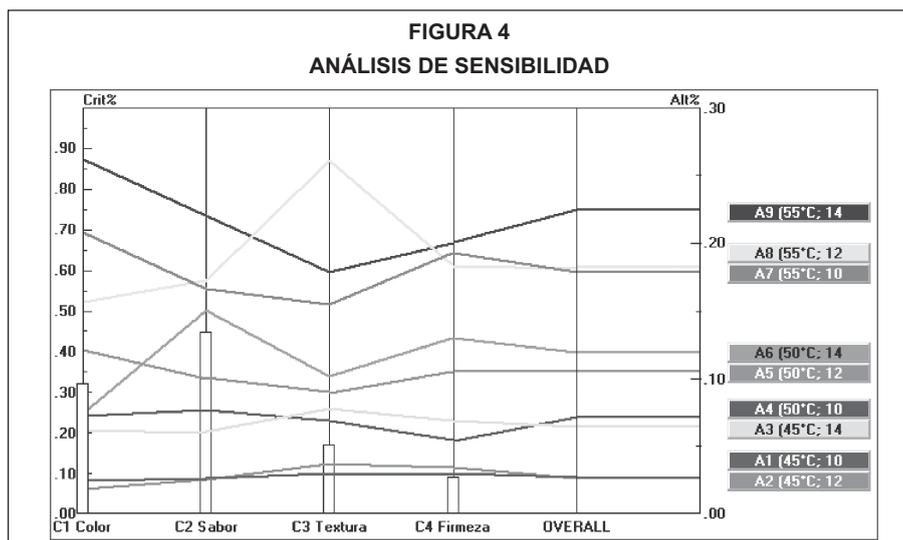
Se observa que las alternativas que obtuvieron la mayor ponderación (A9, A8 y A9) fueron aquellas en las que la temperatura del aire fue 55 °C, y que a medida que disminuye esta temperatura, disminuye también la preferencia del grupo de decisores. Las muestras con mayor tiempo de secado y menor espesor fueron las preferidas dentro de cada nivel de temperatura. Esto concuerda con lo reportado en la literatura (Dissa et al., 2008). Las alternativas A8 y A7, homólogas en temperatura a A9, se determinaron como preferidas en grado dos y tres respectivamente. Se evidencia que las alternativas menos preferidas fueron aquellas cuya temperatura de secado era de 45 °C. Entre estas tres opciones, la A3 resultó con un peso relativo mayor al doble que A1 y A2, con el tiempo de secado y la velocidad del aire más elevados posibles.



Las tres alternativas correspondientes a una temperatura de secado de 50 °C tuvieron una ponderación intermedia respecto a las otras temperaturas. La alternativa A6 resultó preferida sobre las otras dos en su grupo de temperatura, teniendo ésta el mayor tiempo de secado entre las tres.

## Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad con fines de simulación de los resultados, el cual permite corroborar la consistencia del ordenamiento en las alternativas. Para ello se realizó una simulación, variando en 10% hacia arriba y hacia abajo secuencialmente cada uno de los criterios, obteniéndose como resultado que no existía variación en la ordenación de las alternativas en este análisis. Esto demuestra que la sensibilidad es baja al peso de los criterios y por ende los criterios seleccionados son adecuados para esta evaluación (Chang *et al.* 2007). En la Figura 4 se muestra el orden de preferencia según los pesos relativos calculados originalmente para los diferentes criterios. En las Tablas 5 y 6 se observa el resultado en la ordenación de las alternativas al aumentar y disminuir respectivamente en 10% cada uno de los criterios.



Fuente: EC 2000®.

**TABLA 5**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL AUMENTAR 10% CADA CRITERIO**

| <b>Orden original</b> | <b>C1 (Sabor)<br/>+ 10%</b> | <b>C2 (color)<br/>+ 10%</b> | <b>C3 (textura)<br/>+ 10%</b> | <b>C4 (firmeza)<br/>+ 10%</b> |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A9                    | A9                          | A9                          | A9                            | A9                            |
| A8                    | A8                          | A8                          | A8                            | A8                            |
| A7                    | A7                          | A7                          | A7                            | A7                            |
| A6                    | A6                          | A6                          | A6                            | A6                            |
| A5                    | A5                          | A5                          | A5                            | A5                            |
| A4                    | A4                          | A4                          | A4                            | A4                            |
| A3                    | A3                          | A3                          | A3                            | A3                            |
| A2                    | A2                          | A2                          | A2                            | A2                            |
| A1                    | A1                          | A1                          | A1                            | A1                            |

Fuente: elaboración propia.

**TABLA 6**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AL DISMINUIR 10% CADA CRITERIO**

| <b>Orden original</b> | <b>C1 (Sabor)<br/>+ 10%</b> | <b>C2 (color)<br/>+ 10%</b> | <b>C3 (textura)<br/>+ 10%</b> | <b>C4 (firmeza)<br/>+ 10%</b> |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A9                    | A9                          | A9                          | A9                            | A9                            |
| A8                    | A8                          | A8                          | A7                            | A8                            |
| A7                    | A7                          | A7                          | A8                            | A7                            |
| A6                    | A6                          | A6                          | A6                            | A6                            |
| A5                    | A5                          | A5                          | A5                            | A5                            |
| A4                    | A4                          | A4                          | A4                            | A4                            |
| A3                    | A3                          | A3                          | A3                            | A3                            |
| A2                    | A2                          | A2                          | A2                            | A2                            |
| A1                    | A1                          | A1                          | A1                            | A1                            |

Fuente: elaboración propia.



En la Tabla 5 se observa cómo los resultados obtenidos a través de las encuestas realizadas tienen una baja sensibilidad a la subjetividad de los participantes. El orden de preferencia de las alternativas estudiadas varió únicamente cuando se disminuyó en un 10% el criterio Textura (C3). Esta variación tuvo un efecto sobre el orden entre la alternativa A8 y A7, en donde la A7 se coloca por encima de la A8, particularmente para este caso.

## Conclusiones

El estudio comprueba que el método de decisión multicriterio, y en específico el proceso de análisis jerárquico (AHP), resultan útiles y apropiados para estudio similares al que se realizó, ya que se logró realizar un trabajo exitoso y novedoso en la industria de alimentos.

Las muestras que menos masa perdieron, fueron consideradas de menor preferencia. Esto se debe a que el agua que permaneció en estas muestras hizo que no cesara el proceso de descomposición, y por lo tanto el color y el sabor no resultaron agradables.

Varios expertos resaltaron el criterio *sabor* ya que se dieron cuenta que las muestras para cada variable no provenían del mismo espécimen de mango. Esta crítica no sólo resulta válida para ese criterio sino para los demás. Se les explicó que los mangos utilizados para cada alternativa fueron seleccionados bajo unos criterios de igualdad basados en la opinión de experimentador con ayuda del proveedor de frutas.

Para los niveles de velocidad del aire, no se muestra evidencia que esta variable hizo cambiar la opinión de los expertos. Lo que se recomienda para un estudio posterior, es omitir la velocidad del aire como variable y establecer una velocidad fija que a la vez permita al secador llegar a unas temperaturas más elevadas.

Como la temperatura de preferencia para el secado fue la más alta estudiada, se recomienda realizar un estudio posterior en la que 55 °C sea una temperatura intermedia o baja entre las demás opciones. Esto ayuda a corroborar la temperatura óptima para el secado.



Se recomienda ampliar el estudio con un mayor número de criterios, con el fin de verificar si el orden establecido se sigue manteniendo.

Se recomienda utilizar esta metodología para otros campos de la industria de los alimentos, como desarrollo de productos, selección de equipos, etcétera.



## Referencias

- AKPINAR, E.K. y DINCER, I. (2005). *Moisture transfer models for slabs drying. International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32 (1-2), 80-93.
- BEVILACQUA, M.; D'AMORE, A. y POLONARA, F. (2004). A multi-criteria decision approach to choosing the optimal blanching-freezing system. *Journal of Food Engineering*, 63, 253-263.
- ARAGONÉS, P. y GARCÍA, M. (2001). *Toma de decisiones en proyectos*. Valencia.
- DISSA, A.; BATHIEBO, H.; KOULIDIAT, J. & DESMORIEUX, H. (2008). Convective drying characteristics of Amelie Mango (*Mangifera Indica L. cv. 'Amelie'*) with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 88, 429-437.
- FOGLIATO, F.S. y ALBIN, S.L. (2003). An AHP-based procedure for sensory data collection and analysis in quality and reliability applications. *Food Quality and Preference* 14, 375-385.
- GARCÍA-MELÓN, M.; ARAGONÉS, P. y GONZÁLEZ, M.C. (2008). An AHP-based evaluation procedure for Innovation Educational Projects: a Face to Face vs. computer-mediated case study. *Omega* 36, 754-765.
- GIRALDO, G.; VÁZQUEZ, R.; MARTÍN-ESPAZA, M.E. y CHIRAT, A. (2006). Rehydration and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. *Journal of Food Engineering* 77, 825-834.
- GOYAL, R.K.; KINGSLEY, A.R.P.; MANIKAN, M.R. y ILYAS, S.M. (2006). Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering* 95, 43-49.
- HICKS, C. (1973). *Fundamental concepts in the desing of experiments*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- HUANG, L.; ZHANG, M.; YAN, W. y MUJUMDAR, A. (2009). Effect of coating on post-drying of freeze-drier strawberry pieces. *Journal of Food Engineering*, 92, 107-111.
- KAYA, A.; AYDIN, O. y KOLAYLI, S. (2010). Effect of different drying conditions on thevitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwi fruits (*Actinidia deliciosa Planch*). *Food and Biproducts Processing*, 88, 165-173.
- KOYUNCU, T.; TOSUN, I. y PINAR, Y. (2007). Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Crinus mas L*). *Journal of Food Engineering*, 753-739.



- LEITE, J.; MANCINI, M. & BORGES, S. (2007). Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. prata and d'agua. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 319-323.
- MARTÍNEZ, G. (2005). Aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) para la selección de un secador de frutas y vegetales. Trabajo no publicado, Ingeniería Química. Universidad Metropolitana.
- OSORIO, C.; FRANCO, M.S.; CASTAÑO, M.P.; GONZÁLEZ-MIRET, M.L.; HEREDIA, F.J. y MORALES, A.L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8, 353-359.
- ROUPHAEL, Y.; SCHWARZ, D. KRUMBEIN, A. & COLLA, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 172-179.
- SAATY, T. (2000). Toma de decisiones para líderes. *El proceso analítico jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo*. University of Pittsburg Editorial RWS Publications, 34-40.
- SARIMESELI A (2011). Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum L.*) leaves. *Energy Conversion and Management* 52, 1449-1453.
- TORRES, J.D.; TALENS, P.; ESCRICHE, I. y CHIRALT, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering* 74, 240-246.
- ZHENFENG, L.; RAGHAVAN, G.S.V.; WANG, N. y VIGNEAULT, C. (2011). Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering* 104, 234-238.