

# **Determinación de las condiciones óptimas de procesamiento para la deshidratación del mango (*Mangifera Indica L.*): Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**

**Investigadores principales:** Henrique Antonio Machado Ball, Alicia Harrar de Dienes

**Investigador ponente:** Alicia Harrar de Dienes

**Institución:** Universidad Metropolitana (Escuela de Ingeniería Química)

**Área de investigación:** Tecnología de Alimentos, Proyectos de Ingeniería.

## **RESUMEN**

En este trabajo se determinaron las condiciones óptimas de procesamiento para la deshidratación de mango mediante la aplicación del método de El Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP). Los criterios de evaluación se basaron en factores de calidad del producto terminado: 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 3 niveles cada una. Estas variables fueron obtenidas mediante revisión bibliográfica, consulta con expertos y pruebas preliminares. Para la etapa experimental se seleccionaron 9 tratamientos (alternativas) a partir de un diseño experimental ortogonal  $3^4$ . 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 [Expert Choice 2000 Team. Pitsburg: Expert Choice, Inc.; 2001]. El criterio que obtuvo la máxima ponderación fue el sabor y las condiciones de procesamiento para la alternativa preferida fueron: temperatura del aire  $55^{\circ}\text{C}$ , 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 claves: Deshidratación de mango, Decisión Multicriterio, AHP,

# **Determinación de las condiciones óptimas de procesamiento para la deshidratación del mango (*Mangifera Indica L.*): Proceso Analítico Jerárquico (AHP)**

**Investigadores principales:** Henrique Antonio Machado Ball, Alicia Harrar de Dienes

**Investigador ponente:** Alicia Harrar de Dienes

**Institución:** Universidad Metropolitana (Escuela de Ingeniería Química)

**Área de investigación:** Tecnología de Alimentos, Proyectos de Ingeniería.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La producción de frutas y vegetales deshidratados constituyen un mecanismo de conservación bien conocido y aplicado en diferentes sectores de la industria de los alimentos (Baert, *et al.*, 2009; Fulladosa *et al.*, 2010). Actualmente existen en nuestro país 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. La producción de mango deshidratado de alta calidad depende en gran medida de la calidad de la materia prima (especies de mango madurez, tamaño) de las condiciones de procesamiento (equipos, condiciones experimentales como 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 (Fogliatto y Albin, 2003). Por estos motivos, las técnicas de Decisión Multicriterio se prestan para ayudar a los tomadores de decisión en la industria a evaluar y cuantificar en forma sistemática y cuantitativa las mejores alternativas para estos procesos. Específicamente el Proceso Analítico Jerárquico AHP se presenta como un modelo matemático de fácil aplicación y resultados confiables basado en la aplicación de encuestas a los decisores para una mejor selección de condiciones.

## **2. OBJETIVOS**

**Objetivo general:** seleccionar las variables de proceso (alternativas) más adecuadas para la deshidratación de mango a través de un conjunto de criterios de calidad fisicoquímica y organoléptica aplicando el Método de Decisión Multicriterio AHP.

**Objetivos específicos:** (1) Determinar las variables de proceso que intervienen en la deshidratación del mango. (2) Identificar los niveles de cada una de las variables relevantes con el propósito de definir las alternativas mediante un diseño experimental. (3) Seleccionar y justificar las evaluaciones organolépticas (criterios) que garantizan un producto de calidad. (4) Determinar, utilizando la técnica de AHP, la mejor alternativa para la deshidratación de mango.

### **3. MARCO TEÓRICO**

***Deshidratación y secado:*** El término secado se refiere a la eliminación de humedad de una sustancia. Cuando se utiliza el término de deshidratación, se considera en la industria alimenticia aquel proceso de secado artificial o manipulado. La deshidratación es uno de los métodos más antiguos para conservar alimentos (Treybal, 1988).

***Diseño experimental:*** El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. (Montgomery, 1991)

***Proceso Analítico Jerárquico:*** es una teoría de la decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala ratio dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto (Saaty, 1994).

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este trabajo para la aplicación del AHP 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 alternativas 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.

#### 4.1. Diseño experimental

Las variables de secado y sus niveles fueron establecidos como se comentó anteriormente mediante la revisión de trabajos previos y pruebas experimentales. Las variables seleccionadas fueron:  $X_1$ . *Temperatura del aire* ( $^{\circ}\text{C}$ ), (niveles: 45, 50 y  $55^{\circ}\text{C}$ ), se tuvo como limitación la máxima temperatura alcanzada con la resistencia eléctrica del secador, a las velocidades de aire utilizadas se logró alcanzar  $55^{\circ}\text{C}$ . (Dissa et al., 2008);  $X_2$ . *Tiempo de residencia* ( $h$ ), (niveles: 10, 12 y 14h), 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;  $X_3$ . *Velocidad del aire* ( $m/s$ ), (niveles 0,75, 1,10 y 1,25  $m/s$ ), 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  $m/s$ ;  $X_4$ . *Espesor* ( $m$ ) (niveles:  $6 \cdot 10^{-3}$ ,  $8 \cdot 10^{-3}$ , y  $10 \cdot 10^{-3}$   $m$ ), en pruebas experimentales se determinó que el espesor no podía ser inferior a,  $6 \cdot 10^{-3}$   $m$  debido a que la rodaja se reseca y se asemeja a una corteza dura y poco flexible, (Dissa et al., 2008) recomiendan espesores de  $2,5 \cdot 10^{-3}$  a  $10 \cdot 10^{-3}$   $m$ . En vista de que el número de combinaciones resultante fue 81 (4 variables a 3 niveles cada una) se realizó un diseño experimental ortogonal L9 ( $3^4$ ) con un total de 9 tratamientos (alternativas) que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos (alternativas)

Alternativa	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tiempo (h)	Velocidad del aire ( $m/s$ )	Espesor (m)
1	45	10	0,75	$6 \cdot 10^{-3}$
2	45	12	1,00	$8 \cdot 10^{-3}$
3	45	14	1,25	$10 \cdot 10^{-3}$
4	50	10	1,00	$10 \cdot 10^{-3}$
5	50	12	1,25	$6 \cdot 10^{-3}$
6	50	14	0,75	$8 \cdot 10^{-3}$
7	55	10	1,25	$8 \cdot 10^{-3}$
8	55	12	0,75	$10 \cdot 10^{-3}$
9	55	14	1,00	$6 \cdot 10^{-3}$

### 3.2 Ponderación de criterios

En la Figura 1 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. El Sabor (C2) tuvo la máxima valoración por parte del grupo de expertos con un peso relativo de 0,440. Seguido de este, 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. 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 lo que son el color y el sabor. Esto corrobora la bibliografía consultada anteriormente (Osorio *et al.*, 2007; Rouphael *et al.*, 2010).

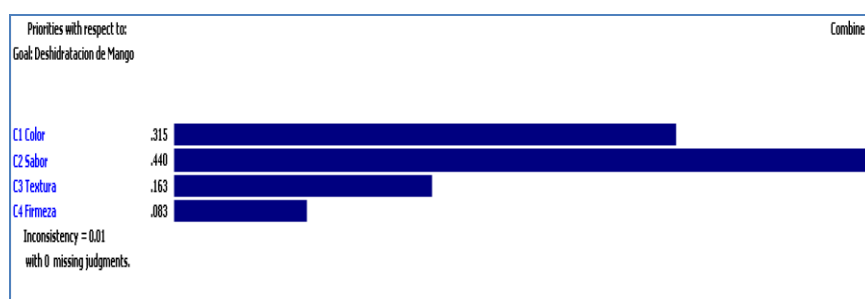


Figura 2. Peso relativo de cada uno de los criterios para el grupo de expertos  
Fuente: EC 2000 ®

### 3.3. Resolución analítica, índice de ordenación de las alternativas

En la Figura 2 se muestra el ordenamiento de las alternativas para el grupo de expertos. Se observa que las alternativas que obtuvieron la mayor ponderación (A9, A8 y A9) fueron aquellas en la 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).

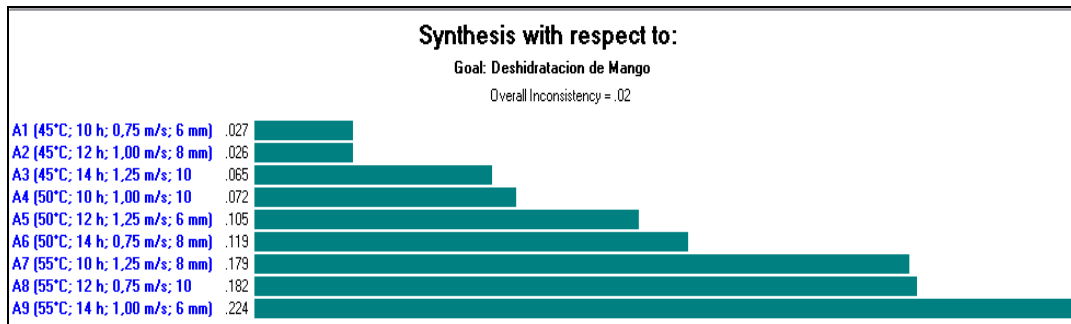


Figura 2. Jerarquía de preferencia de alternativas para la selección de un secador de frutas y vegetales

Fuente: EC 2000 ®

### 3.4. 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 un 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).

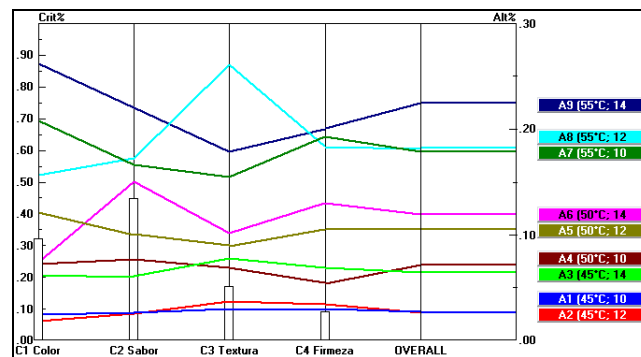


Figura 4. Análisis de Sensibilidad

Fuente: EC 2000 ®

## 5. CONCLUSIONES

- El estudio comprueba que el método de Decisión Multicriterio y en específico El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) resultan útiles y apropiadas para determinar las

condiciones óptimas de procesamiento para la deshidratación de mango ya que se logro realizar un trabajo exitoso y novedoso en la industria de alimentos.

- El diseño experimental resultó ser una herramienta útil para la planificación de los experimentos ya que permitió determinar los tratamientos a evaluar así como identificar los niveles de cada una de las variables en cada tratamiento (alternativas).
- En referencia a la ponderación de los criterios se aprecia una mayor importancia a los parámetros sabor y color lo que demuestra que la calidad de las frutas deshidratadas es un término amplio que incluye las propiedades físicas y organolépticas.
- El análisis de sensibilidad revela que la alternativa seleccionada es favorable en un amplio rango de variación de los pesos relativos de los diferentes criterios.
- Se recomienda utilizar esta metodología para otros campos de la industria de los alimentos, como desarrollo de productos, selección de equipos, etc.

## 6. REFERENCIAS

- Akpinar, E. K., & Dincer, I. (2005). Moisture transfer models for slabs drying. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32 (1-2), 80-93.
- Baert, L., Debevere, J., & Uyttendaele, M. (2009). The efficacy of preservation methods to inactivate foodborne viruses. *International Journal of Food Microbiology*, 131 (2-3), 83-94.
- Chang W.C., Wu C.R., Lin, C.T., and Chen, H.C. (2007). An aplication of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine". *Computers & Industrial Engineering*, 52, 296-307.
- Dissa, A., Bathiebo, H., Koulidiat, J., & Desmorieux, H. (2008). Convective drying, characteristicsx of Amelie Mango (*Mangifere Indica L. cv. 'Amelie'*) with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering*, 88, 429-437.
- Fogliatto, F., & Albin, S. (2003). An AHP-based procedure for sensory data collection and analisis in quality and reliability applications. *Food Quality and Preference*, 14, 375-385.
- Fulladosa, E., Santos-Garces, E., Picouet, P., & Gou, P. (2010). Prediction of salt water content in dry-cured hams by computed tomography. *Journal of Food Engineering*, 96, 80-85.

- Montgomery, D. (1991). *Diseño y Analisis de Experimentos*. Mexico: Iberoamericana.
- Osorio, C., Franco, S., Castaño, M., Gonzalez-Miret, L., Heredia, F., & Morales, A. (2007). Colour and flavor 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*, 127, 172-179.
- Saaty, T.L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*. RWS. Pittsburgh: RWS Publications.
- Treybal, R. (1988). *Operaciones de Transferencia de Masa*. Mexico: McGraw-Hill.