



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

México

Escamilla-López, Miguel; Meza-Jiménez, Jorge; Tejeda Castrejón, Jesús Francisco; Ríos-Farías, Miguel; Rolón-Llamas, Silvia; Jiménez-Fuentes, Luis Fernando; González-Gómez, Erick

Optimización de la Humedad del Coco Molido Predeshidratado Utilizando Arreglos Ortogonales

Conciencia Tecnológica, núm. 51, enero-junio, 2016, pp. 16-24

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94446004003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Optimización de la Humedad del Coco Molido Predeshidratado Utilizando Arreglos Ortogonales

Moisture Optimization of Ground Dehydrated Coconut Using Orthogonal Arrays

M.C. Miguel Escamilla-López, Dr. Jorge Meza-Jiménez, M.C. Jesús Francisco-Tejeda Castrejón
M.C. Miguel Ríos-Farías, Ing. Silvia Rolón-Llamas, Luis Fernando Jiménez-Fuentes*, Erick González-Gómez*
* Estudiantes de noveno semestre de la carrera de Ingeniería Industrial.
Instituto Tecnológico de Colima, Departamento de Ingeniería Industrial
Avenida Tecnológico No.1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, México. Tel/Fax (312) 3129920 y 3126393 Ext.
244, E-mail: miguel.escamilla@itcolima.edu.mx, jorge.meza@itcolima.edu.mx

Resumen

El presente trabajo muestra el método utilizado para acercar la humedad del coco molido durante la etapa de predeshidratación, al valor ideal de 9.50% en el proceso de deshidratación y lograr una mezcla eficiente con el resto de los ingredientes, con el objetivo de obtener coco molido deshidratado sin problemas de apelmazamiento (formación de grumos) en la etapa de almacenaje, con las características de calidad físicas requeridas por los clientes de la empresa. Se llevó a cabo un experimento con 4 factores de control a 3 niveles de prueba cada uno, utilizando el arreglo ortogonal L_9 ; esto es un experimento $L_9(3)^4$. Los resultados obtenidos una vez implantada la corrida óptima en el proceso de deshidratación, muestran una mejora en la humedad del coco molido predeshidratado en un 0.99%, lo cual redujo en un 3.59% el problema de apelmazamiento, respecto al promedio de los dos últimos años.

Palabras clave: humedad, coco predeshidratado, apelmazamiento, mezclado, deshidratación, azúcar y fécula

Abstract

The present work shows the method used to bring the ground coconut moisture during the dewatering step, to ideal value of 9.50% in the dehydration process and achieve efficient mixing with the remaining ingredients, in order to obtain ground coconut dehydrated without caking problems (clumping) in the storage step with physical quality characteristics required by customers of the company. An experiment with 4 control factors at 3 levels each test, using the L_9 orthogonal array it was carried out; this is an experiment $L_9(3)^4$. The results obtained when the run optimal was implanted in the dehydration process, show an improved in moisture desiccated ground coconut of 0.99%, which at 3.59% reduced the problem of caking, compared to the average of the last two years.

Keywords: moisture, dewatering coconut, caking, mixing, drying, sugar and starch.

Introducción

El cocotero. Por sus características físicas y químicas, el cocotero o simplemente coco (*Cocos nucifera*) es una de las frutas más aprovechables de todas las que existen, ya que de ésta se pueden extraer una gran variedad de productos derivados como aceite, fibra natural, polvillo, agua embotellada y coco deshidratado rallado o molido; éste último se obtiene mediante la deshidratación de la pulpa del fruto maduro, se le llama coco deshidratado y tiene gran aplicación en la industria galletera, panificadora, confitera y láctea. En nuestro país se encuentran muchas empresas dedicadas al proceso y beneficio del coco, ya que contribuye con el 7% de la producción mundial; el estado de Colima es uno de los principales productores y en el municipio de Armería se localizan dos de estas empresas, en una de las cuales se llevó a cabo esta investigación. Sin embargo debido a razones de confidencialidad se omite su razón social en el presente artículo.

Proceso de deshidratación. El proceso de producción de coco molido deshidratado de la empresa, consta de 19 etapas separadas en 5 áreas como se muestra en la figura 1. En el área de recepción se recibe la pulpa de coco, se inspecciona, se pesa, se lava y se almacena en pilas para ser procesada; en el área de húmedas a través de un alimentador se incorpora a un molino para obtener el tamaño adecuado, después de una inspección se le adiciona el conservador y se esteriliza, en el área del horno el coco molido se predeshidrata a una humedad adecuada para su mezcla con los ingredientes, que son el azúcar y la fécula (esta última es un hidrato de carbono que se encuentra principalmente en las células de las semillas, tubérculos y raíces de muchas plantas, la cual le proporciona ciertas características de consistencia) y una vez mezclados, se procede a su deshidratación; posteriormente en el área de empaque,

el coco molido deshidratado ya mezclado se tamiza para separar tamaños, se inspecciona y se empaqueta para su almacenaje en el área de almacén [1].

De acuerdo a la adición o a la no adición de ingredientes (azúcar y fécula), se pueden obtener dos tipos de productos básicos de coco deshidratado: coco puro y coco con azúcar y fécula; la empresa produce sólo el segundo producto, ya que tiene muchas más aplicaciones y existen muchos más clientes para este. En cuanto al tipo de corte también existen dos tipos básicos: coco rallado y coco molido, en este caso la empresa solo produce coco molido y en cuanto al tamaño de partícula, se producen 4 distintos que se separan al final del proceso de producción en la operación de tamizado generando coco fino, medio, macarrón y grueso; en resumen, el producto de la empresa es coco molido deshidratado mezclado con azúcar y fécula, en tamaños fino, medio, macarrón y grueso [1].

Área del horno. El área clave en el proceso de producción es el horno; comprende dos operaciones de deshidratación: predeshidratado y deshidratado; en la primera el coco molido se predeshidrata haciéndolo pasar por dos cámaras (cámaras 1 y 2) mediante un alimentador helicoidal, hasta llegar a una humedad de 8.00% a 12.00% para su posterior mezcla con los ingredientes (azúcar y fécula); en la segunda, el coco molido ya mezclado se deshidrata hasta alcanzar una humedad máxima del 3.00%. La figura 2 muestra esta área del proceso [1].

El problema. Cuando el coco molido predeshidratado llega a la operación de mezclado con una humedad por debajo de 8.50%, los ingredientes no se adhieren eficientemente a la partícula de coco porque ésta se encuentra demasiado seca; esto ocasiona problemas en los productos de los clientes, porque el coco deshidratado no lleva suficientes ingredientes y pierde su sabor característico, afectando también el sabor de sus productos.

En caso contrario, cuando el coco molido predeshidratado llega a la operación de mezclado con una humedad mayor a 11.50%, los ingredientes se adhieren eficientemente a la partícula de coco, sólo que en este caso su elevada humedad incrementa el tamaño de la partícula, afectando su granulometría y generando un coco molido deshidratado con una humedad mayor al máximo permitido que es del 3.00%; esto ocasiona problemas de apelmazamiento durante su almacenaje, lo cual genera en consecuencia problemas de bajas capacidades y paros en los procesos de producción de los clientes, ya que el coco apelmazado o con grumos no fluye eficientemente en los alimentadores de sus procesos de producción.

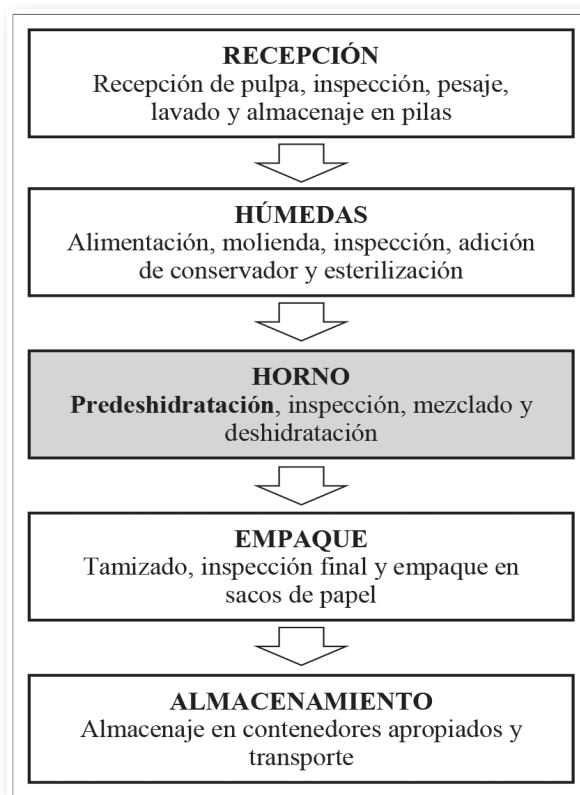


Figura 1. Proceso de producción de coco molido deshidratado de la empresa.

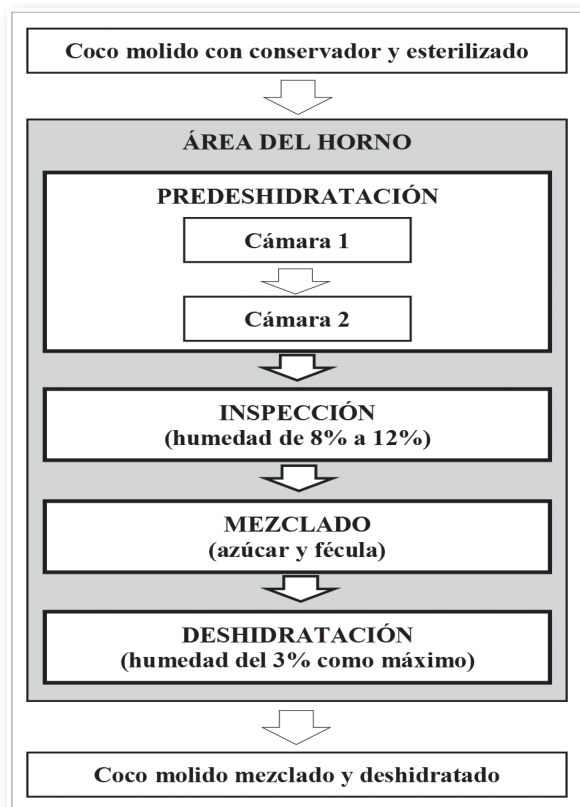


Figura 2. Área del horno del proceso de producción de coco molido deshidratado de la empresa.

Aunque es preferible que el coco molido predeshidratado llegue a la operación de mezclado con una humedad alta, definitivamente esto no es lo adecuado; se han hecho esfuerzos para abatir este problema y aunque se ha mantenido en los años 2011 y 2012 en comparación con el año 2010, el pronóstico para 2013 es desalentador, ya que para este año se espera un porcentaje de producto con problemas de apelmazamiento, similar al de 2011 y 2012. En la figura 3 se muestra el porcentaje de producto que presentó problemas de apelmazamiento en los años 2010, 2011 y 2012, de acuerdo a reportes de los clientes; como se observa, el problema lejos de reducirse tiende a incrementarse [2].

De acuerdo a lo anterior, es fundamental el monitoreo continuo de la humedad del coco molido producto de la operación de predeshidratación; esta se mide cada 30 minutos mediante la toma de una muestra del alimentador al horno de deshidratado, de esta muestra se pesan 10 gramos en una balanza analítica digital, después se extienden uniformemente en un plato y se exponen al calor de una fuente luminosa durante 10 minutos, hasta que se evapore por completo la humedad y quede perfectamente seca, a continuación se pesa de nuevo en la balanza y se convierte a porcentaje [1].

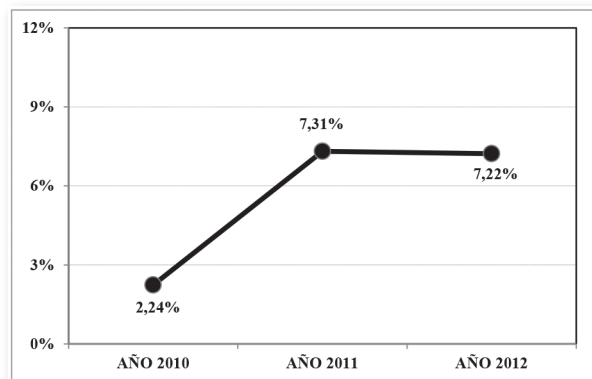


Figura 3. Producto con problemas de apelmazamiento durante los años 2010, 2011 y 2012.

Estudios previos han sugerido que la humedad ideal del coco molido predeshidratado para lograr una mezcla eficiente con el azúcar y la fécula, tal que no genere problemas de apelmazamiento, es de 9.50%; en la figura 4 se muestra la gráfica de probabilidad normal para las lecturas promedio diarias de su humedad en los últimos 6 meses de 2012, donde se observa que los datos son normales ya que se ajustan a la recta central con un intervalo de confianza del 95%, además de que el valor p es mayor a 0.0500; así mismo, en la figura 5 se muestra el histograma correspondiente, donde se observa que el valor ideal de 9.50% cae dentro

del intervalo $\mu \pm 2\sigma$, pero muy alejado de la media del proceso (11.02%), ya que los datos presentan gran dispersión con una desviación estándar de 0.88% [2].

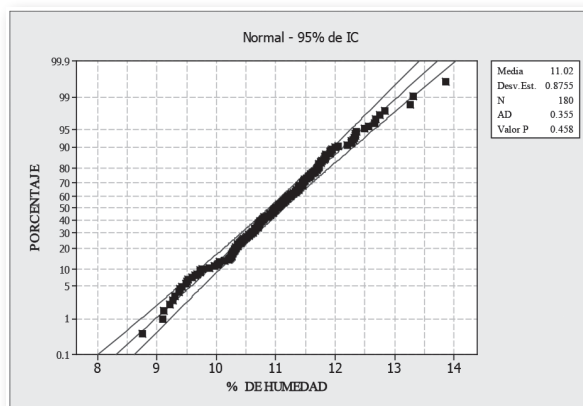


Figura 4. Gráfica de probabilidad normal con intervalo de confianza del 95% de la humedad del coco molido predeshidratado (últimos seis meses de 2012).

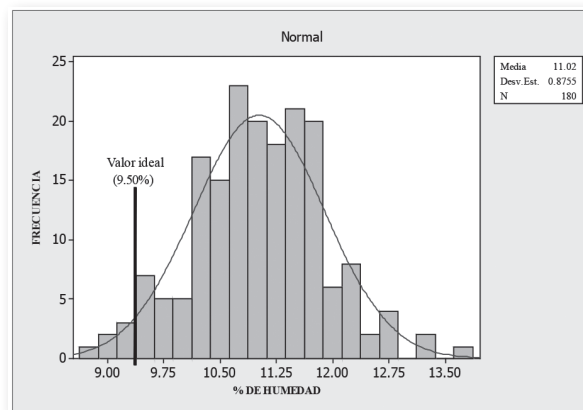


Figura 5. Histograma de la humedad del coco molido predeshidratado (últimos seis meses de 2012).

La propuesta para acercar la humedad del coco molido predeshidratado al valor ideal de 9.50%, con el objetivo de abatir el problema de apelmazamiento en el coco molido deshidratado, es la aplicación y desarrollo de un diseño experimental.

Fundamentos teóricos

La deshidratación. El secado o deshidratación, es probablemente el método más antiguo e importante para la conservación de los alimentos practicado por los humanos [3]. La mayoría de los cereales, verduras y frutas pueden conservarse después de su deshidratación [4]. Su objetivo principal es permitir períodos de almacenamiento más largos del producto, así como minimizar los requisitos y reducir el peso del embalaje

[5]. La deshidratación depende de dos procesos fundamentales, que son la transferencia de calor en el producto y el proceso de transferencia de masa [6]. Existen dos métodos básicos de deshidratación de alimentos: deshidratación solar y deshidratación mediante métodos eléctricos o energéticos; un proceso de deshidratación típico de frutas se muestra en la figura 6 [7].

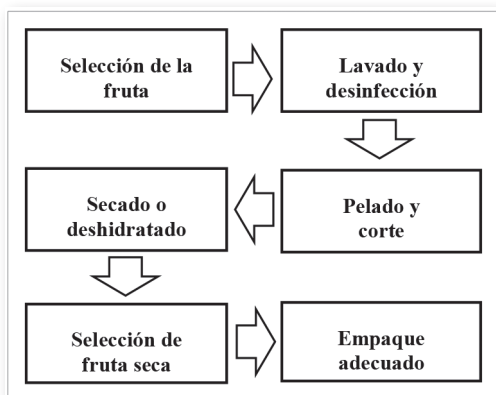


Figura 6. Proceso de deshidratación típico de frutas.

El diseño experimental. Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida; los métodos de diseño experimental tienen un cometido importante en el desarrollo y depuración de procesos productivos para mejorar su rendimiento[8].

Los diseños experimentales permiten estudiar de manera confiable un problema dado, para interpretar resultados y determinar soluciones; son eficientes y permiten analizar una o múltiples variables a la vez, generando resultados más precisos y veraces de los que se obtienen empleando el método alternativo de estudiar variable por variable [9].

Arreglos ortogonales. Un arreglo ortogonal es un experimento factorial fraccionado diseñado por el ingeniero Genichi Taguchi, que reduce significativamente la cantidad de pruebas requeridas por un experimento factorial, este tipo de modelo estima los efectos principales de los factores y de sus interacciones; es una forma de examinar simultáneamente muchos factores con un mínimo de pruebas, lo que implica bajos costos y fácil aplicación a los problemas y requerimientos de la industria moderna. Ortogonalidad significa que los factores pueden ser evaluados independientemente; el efecto

de un factor no afecta la estimación del efecto del otro. Para que esto suceda, el experimento debe estar balanceado, lo cual implica igual número de pruebas en cada nivel de cada factor [10].

Cada arreglo ortogonal tiene un número definido de columnas que pueden albergar un factor o una interacción; para su colocación en el arreglo se utilizan las gráficas lineales y las tablas triangulares correspondientes a cada arreglo. Una gráfica lineal indica en qué columnas del arreglo deben ubicarse los factores de interés, quedando algunas libres para sus interacciones, en estos diagramas los puntos representan el número de la columna disponible para el factor y las líneas los espacios para las interacciones entre los factores que los contienen. Una tabla triangular enlista todas las posibles relaciones entre los factores e interacciones existentes para un arreglo ortogonal [10].

Efectos principales. El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producida por un cambio en el nivel del factor mientras el nivel de los otros factores permanece constante; numéricamente puede interpretarse como la diferencia entre la respuesta promedio en cada nivel de prueba de ese factor. Esto se puede analizar más eficientemente mediante gráficas que representan los efectos principales de los niveles de un factor contra los niveles de los otros factores; estas gráficas son útiles para determinar el nivel adecuado de operación de cada factor o corrida óptima [9].

Distribución F. La distribución F fue creada por Ronald A. Fisher y se emplea para probar si dos muestras provienen de poblaciones que poseen varianzas iguales, o bien para determinar una diferencia significativa entre sus varianzas mediante la prueba F, también se aplica cuando se trata de comparar a la vez varias medias poblacionales; la comparación simultánea de varias medias poblacionales se conoce como análisis de varianza (andeva o anova por sus siglas en inglés)[11].

Análisis de varianza. El análisis de varianza es una herramienta de decisión para analizar los datos experimentales, la idea central es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento; para llevarlo a cabo, deben calcularse las sumas de cuadrados de cada columna al igual que la variación total y considerar los grados de libertad correspondientes [10].

Grados de libertad. Un grado de libertad es el número de valores independientes que una variable puede tomar; los grados de libertad para cada factor

del experimento son el número de niveles de prueba menos 1 ($n-1$), los grados de libertad para un arreglo ortogonal, son el número de pruebas del arreglo menos 1 ($N-1$) y en todo caso los grados de libertad para un experimento completo, es igual al número total de pruebas realizadas menos 1 ($N-1$) [10].

Materiales y métodos

Característica de calidad. La característica de calidad a optimizar en la presente investigación es la humedad del coco molido producto de la operación de predeshidratación o coco molido predeshidratado, acercándola lo más posible al valor ideal de 9.50% y lograr una mezcla eficiente con los ingredientes, con el objetivo de reducir el problema de la formación de grumos o apelmazamiento en la etapa de almacenaje del producto; de esta forma, se tiene una característica del tipo N (nominal).

Factores de prueba. Derivado de un análisis en el que participó el personal de la empresa y después de varias discriminaciones, se determinó que los factores operativos que pudieran estar influyendo en la humedad del coco molido predeshidratado, se encuentran básicamente en la operación de predeshidratación y considerando que esta operación consta de 2 cámaras, se establecieron como posibles factores causales los siguientes:

- Cantidad de alimentación (C).
- Velocidad de alimentación (V).
- Temperatura de la cámara 1 (T1).
- Temperatura de la cámara 2 (T2).

No es posible en este caso considerar el tamaño de la partícula del coco molido producto de la operación de molienda, ya que el proceso está diseñado para que el 100% del coco molido entre a la operación de predeshidratación y en la operación de tamizado hasta el final del proceso, es donde se separan los 4 tamaños del producto, además de que estos tamaños son los requeridos por los clientes.

Niveles del experimento. Considerando la necesidad de obtener la mayor cantidad posible de información de este experimento, se optó por un diseño en el cual cada factor fuera probado a 3 niveles (bajo-medio-alto); esto es un experimento 3^4 con el cual se necesitarían 81 pruebas o experimentos ($3^4 = 81$) en un diseño factorial.

Selección del arreglo ortogonal. La empresa no cuenta con un laboratorio en el cual se puedan realizar las pruebas, la única alternativa viable fue realizarlas a nivel industrial directamente en el proceso de producción; sin embargo, realizar 81 pruebas a nivel

industrial sería muy costoso y demandaría mucho tiempo en el proceso de producción, razón por la cual se decidió utilizar el arreglo ortogonal de la serie de 3 niveles L_9 , que permite analizar en un mismo experimento 4 factores probándolos a 3 niveles cada uno con solo realizar 9 pruebas, obteniendo un ahorro significativo de 72 pruebas; de esta forma, se realizó un experimento $L_9(3)^4$. En la tabla 1 se muestra el arreglo ortogonal a 3 niveles L_9 , donde los renglones representan el número de pruebas o experimentos a realizar, las columnas representan los posibles factores a considerar en el experimento y los números del centro representan el nivel de prueba de cada factor en cada prueba [12].

Niveles de prueba. Para establecer los 3 niveles de prueba de cada uno de los 4 factores del experimento (bajo-medio-alto), se realizó una recopilación de sus indicadores promedio diarios registrados en los últimos 6 meses de operación del año 2012, se les aplicó a cada uno la prueba de normalidad y se obtuvo su histograma respectivo con sus estadísticos básicos (μ y σ) [2]. El criterio para determinar los 3 niveles de prueba de cada factor, fue establecido por el rango de la distribución normal en el cual caen aproximadamente el 68% de los valores, de acuerdo a la regla empírica; es decir $\mu \pm \sigma$ [13]:

$$\begin{aligned}\text{Nivel 1 (bajo)} &= \mu - \sigma \\ \text{Nivel 2 (medio)} &= \mu \\ \text{Nivel 3 (alto)} &= \mu + \sigma\end{aligned}$$

L_9	Columnas			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabla 1. Arreglo ortogonal L_9 .

En la figura 7 se muestra la gráfica de probabilidad normal para la temperatura de la cámara 1 (T1), mientras que en la figura 8 se observa su histograma correspondiente con sus estadísticos básicos a manera de ejemplo; así mismo, la tabla 2 muestra los 4 factores de control del experimento, con sus 3 niveles de prueba cada uno.

Asignación de los factores al arreglo ortogonal. Para asignar los factores de prueba a las columnas del arreglo ortogonal L_9 , la regla de asignación establece que si se tienen 2 factores, deben asignarse a las primeras 2 columnas, si se tienen 3 factores, deben asignarse a las primeras 3 columnas y si se tienen 4 factores, cada factor ocupará una columna del arreglo; esta asignación puede realizarse arbitrariamente [14]. Aplicando esta regla, se acordó asignar los factores del experimento a las columnas del arreglo en el mismo orden en el que se establecieron; es decir:

- Cantidad de alimentación (C)....columna 1
- Velocidad de alimentación (V)...columna 2
- Temperatura de la cámara 1 (T1)...columna 3
- Temperatura de la cámara 2 (T2)...columna 4

La tabla 3 muestra el arreglo ortogonal L_9 con los factores C, V, T1 y T2, asignados a sus columnas y los niveles reales de prueba para cada uno.

Realización de las pruebas. Las pruebas se realizaron a nivel industrial; es decir, directamente en el proceso de producción y con el fin de afectarlo lo menos posible y realizar las 9 pruebas del experimento acertadamente, se acordó con el personal de la empresa, realizar una prueba por día a la misma hora, seleccionada en forma aleatoria de entre las 9 requeridas y con una duración de 60 minutos cada una de éstas.

Para tener un resultado más representativo del tiempo de duración de cada prueba y dando un margen suficiente para la estabilización y respuesta del proceso en los niveles de operación de cada factor, se determinó tomar 3 muestras de coco molido predeshidratado (a los 20, 40 y 60 minutos de haber arrancado la prueba), medir el porcentaje de humedad de cada una de acuerdo al procedimiento establecido, obtener el promedio de las 3 muestras y éste fue considerado el resultado válido de la prueba; en la tabla 4 se muestra el arreglo ortogonal L_9 , junto con los resultados de las 9 pruebas del experimento.

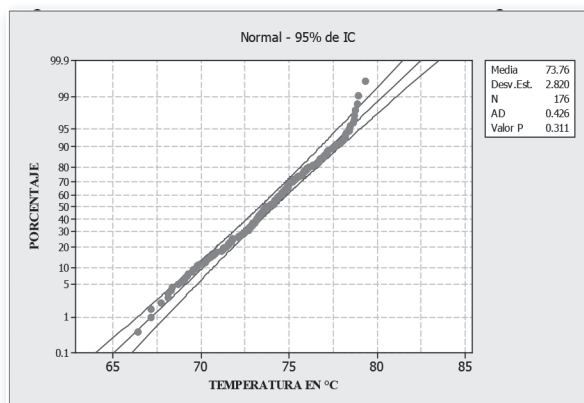


Figura 7. Gráfica de probabilidad normal con intervalo de confianza del 95% para la temperatura de la cámara 1 (T1).

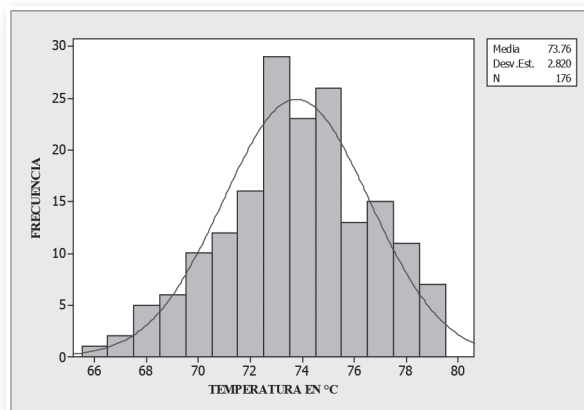


Figura 8. Histograma para la temperatura de la cámara 1 (T1).

FACTOR	UNIDAD	NIVEL 1 ($\mu - \sigma$)	NIVEL 2 (μ)	NIVEL 3 ($\mu + \sigma$)
C	kg/hr	87.2	90.6	94.0
V	cm/seg	0.82	0.88	0.94
T1	°C	71.0	73.8	76.6
T2	°C	62.3	64.5	66.7

Tabla 2. Niveles de prueba de cada factor.

L_9		Factores de control			
		C	V	T1	T2
Pruebas o experimentos	1	87.2	0.82	71.0	62.3
	2	87.2	0.88	73.8	64.5
	3	87.2	0.94	76.6	66.7
	4	90.6	0.82	73.8	66.7
	5	90.6	0.88	76.6	62.3
	6	90.6	0.94	71.0	64.5
	7	94.0	0.82	76.6	64.5
	8	94.0	0.88	71.0	66.7
	9	94.0	0.94	73.8	62.3

Tabla 3. Arreglo ortogonal L_9 con los factores de control asignados y sus niveles reales de prueba.

L ₉	Factores de control				Humedad (%)
	C	V	T1	T2	
1	1	1	1	1	11.20
2	1	2	2	2	10.05
3	1	3	3	3	8.85
4	2	1	2	3	9.88
5	2	2	3	1	9.60
6	2	3	1	2	10.84
7	3	1	3	2	9.85
8	3	2	1	3	9.93
9	3	3	2	1	10.56

Tabla 4. Arreglo ortogonal L₉ con los resultados de las 9 pruebas del experimento.

Resultados y discusión

Efectos principales. Las gráficas de los efectos principales se muestran en la figura 9, donde se observa que los factores velocidad de alimentación (V), temperatura de la cámara 1 (T1) y temperatura de la cámara 2 (T2) parecen ser significativos, mientras que el factor cantidad de alimentación (C) no lo es, lo cual resulta muy extraño y quizás se deba a que no todos los factores fueron incluidos en el experimento; con base a esto y considerando que los niveles de operación más adecuados para cada factor, son los más cercanos a 9.50%, se deduce que la corrida óptima queda:

- V₂ = 0.88 cm/seg.
- T1₃ = 76.6°C.
- T2₃ = 66.7°C.

Análisis de varianza. Ya que todas las columnas del arreglo están ocupadas por los factores, no es posible estimar el error y continuar los cálculos del análisis de varianza; esto equivale a realizar una sola réplica de un experimento factorial completo, lo cual se soluciona asignando las sumas de cuadrados de los factores que resultan despreciables al error para poder estimarlo [8]. Para esto se calcula el porcentaje de composición de la suma de cuadrados de cada factor, que en este caso se observa que el factor cantidad de alimentación (C) tiene el menor; la suma de cuadrados de este factor y sus grados de libertad se asignan al error para poder seguir con los cálculos. La tabla 5 muestra el análisis de varianza completo, donde se comprueba que los tres factores restantes son significativos e impactan a la humedad del coco molido predeshidratado; esto indica que es necesario mantenerlos bajo control estricto.

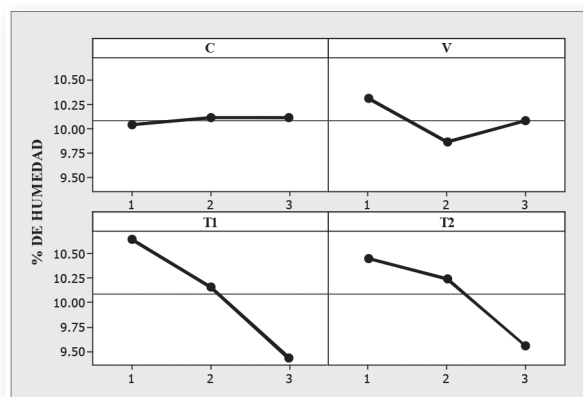


Figura 9. Efectos principales de cada factor.

FAC.	S. C.	G. L.	M.C.	F ₀	SIG.
C	****	*	****	****	No sig.
V	0.30376	2	0.1519	25.694	Al 5%
T1	2.27282	2	1.1364	192.25	Al 1%
T2	1.33342	2	0.6667	112.79	Al 1%
error	0.01182	2	0.0059	----	----
TOT.	3.92182	8	----	----	----

Tabla 5. Análisis de varianza del experimento.

Interacción entre factores. En la figura 10 se muestran las gráficas de interacción entre los factores, donde se observa que los cuatro factores (C,V,T1 y T2) interactúan entre sí; lo que le proporciona relevancia al factor cantidad de alimentación (C), que aunque no es significativo de acuerdo al análisis de varianza realizado, resulta tener importancia por su interacción con el resto de los factores, ya que es necesario recordar que los efectos principales no tienen mucho sentido cuando están implicados en interacciones significativas [8].

La corrida óptima se implantó en el proceso de producción; los resultados obtenidos después de un periodo de seis meses se muestran en la figura 11, donde se puede ver que la humedad del coco molido predeshidratado se encuentra más cerca del valor ideal de 9.50% y aunque muy cerca del límite inferior, dentro del rango determinado por $\mu \pm \sigma$ con un valor medio de 10.03%; asimismo, también se logró una mejora significativa en su variabilidad al reducirse su desviación estándar de 0.88% a 0.55%. Con este valor promedio en la humedad del coco molido predeshidratado, el porcentaje generado de producto con problemas de apelmazamiento fue del 3.68%; esto es, 3.59% menos que el promedio registrado en los años 2011 y 2012 que fue de 7.27%, lo cual se puede observar en la figura 12.

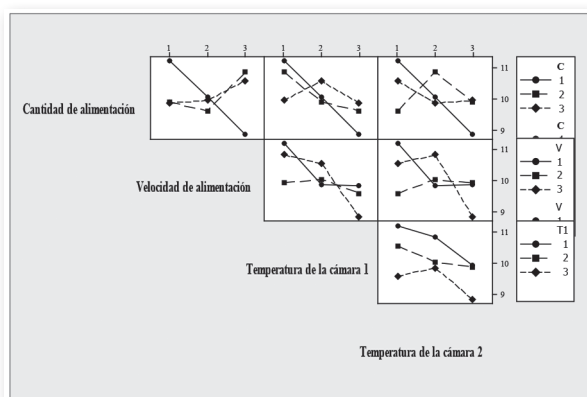


Figura 10. Gráficas de interacción entre los cuatro factores del experimento.

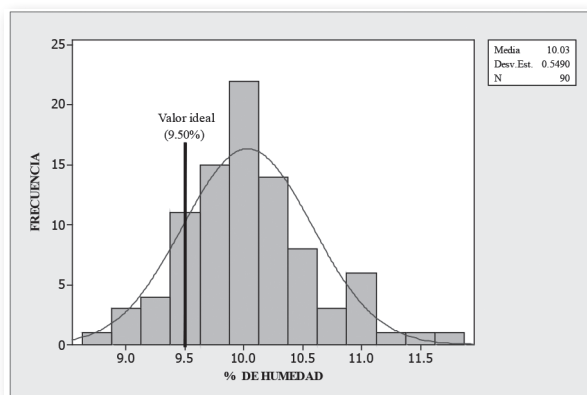


Figura 11. Humedad del coco molido predeshidratado con la corrida óptima implantada.

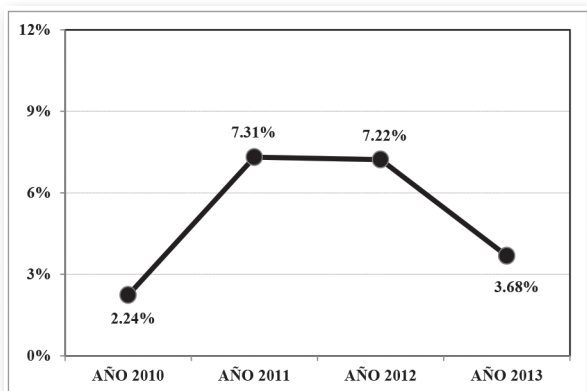


Figura 12. Producto con problemas de apelmazamiento con la corrida óptima implantada (primeros seis meses del año 2013).

Conclusiones

La implantación de la corrida óptima del experimento realizado en el proceso de producción, permitió acercar la humedad del coco predeshidratado al valor ideal de 9.50%, en 0.99% (casi 1.00%) al reducirse su valor promedio diario de 11.02% a 10.03%. Parece que este desplazamiento no es significativo, pero si se le compara con el rango dentro del cual se mueve la humedad del coco molido predeshidratado, que es aproximadamente de 8.5% a 13.5% (5 puntos porcentuales), entonces ya no resulta insignificante, además con esto se logra un salto del rango de $\mu \pm 2\sigma$ donde se encontraba, al rango de $\mu \pm \sigma$, así como también una reducción significativa en su variabilidad; sin embargo, lo importante es que este desplazamiento de la humedad, generó una reducción del porcentaje de producto con problemas de apelmazamiento en un 3.59%.

Por otra parte, queda claro que éste es apenas un primer paso en el logro del objetivo propuesto, ya que es posible mejorar aún más la operación de predeshidratación y acercar más el promedio diario de la humedad del coco molido predeshidratado al valor deseado y reducir aún más el porcentaje de producto con problemas de apelmazamiento; en este sentido se recomienda estudiar a fondo la etapa de predeshidratación, mediante nuevos diseños experimentales que incluyan más factores de operación que se sabe impactan significativamente la humedad del coco molido predeshidratado y que sin duda aportarán más información o bien, obtener más información de estos cuatro factores realizando nuevos experimentos que incluyan las interacciones entre estos.

Si el objetivo final es encontrar el nivel óptimo en el cual deben operar los factores de la etapa de predeshidratación para que la humedad del coco molido predeshidratado se encuentre lo más cercano posible al valor ideal promedio de 9.50% y abatir completamente los problemas de apelmazamiento en el producto, se recomienda utilizar la metodología de superficies de respuesta, una vez que ya hayan sido identificados todos y cada uno de los factores de operación que influyen en su humedad.

Referencias

- [1] Empresa productora de coco deshidratado, (2006), *Manual de procedimientos operativos*, Armería, Colima.
- [2] Empresa productora de coco deshidratado, (2010, 2011 y 2012), *Reportes de los clientes/Archivos de estadísticas de operación*, Armería, Colima.

- [3] Sacilik, K., (2007), Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.), *Journal of Food Engineering*, 79: 23-30.
- [4] Doymaz, I., (2004), Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.), *Journal of Food Engineering*, 65: 205-209.
- [5] Vengaiyah, P. C. and J. P., Pandey, (2007), Dehydration kinetics of sweet pepper (*Capsicum annum* L.), *Journal of Food Engineering*, 81: 282-286.
- [6] Potter, N. N. and J. H. Hotchkiss, (1995), *Food Science*, Chapman and Hall, New York.
- [7] Calderón, de Z.V.R., (2010), *Deshidratación de alimentos*, Centro Nacional para la Preservación de Alimentos, boletín CENTA, El Salvador.
- [8] Montgomery, D. C., (1991), *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica, México.
- [9] Hernández, M. J., (2001), *Diseño de mezclas para tabicón de concreto por medio de diseño experimental, caso ALPE*, México, Instituto Tecnológico de Colima.
- [10] Ross, P. J., (1988), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw Hill, USA.
- [11] González, G. C., (1991), *Control de calidad*, McGraw Hill, 1ra. edición en español, México.
- [12] Taguchi, G. (1986), *Introduction to quality engineering "designing quality into products and process"*, Asian Productivity Organization, Tokio, Japón.
- [13] Gutiérrez, P. H., (2005), *Calidad total y productividad*, McGraw Hill, 2da. edición, México.
- [14] Gutiérrez, P. H. y De la Vara, S. R. (2008), *Análisis y diseño de experimentos*, McGraw Hill, México.

Recibido: 18 de agosto de 2015

Aceptado: 11 de febrero de 2016