



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Escamilla López, Miguel; Bayardo Ceballos, Marcelo; Lúa Madrigal, Olimpo
Incremento de la Vida de Anaquel del Agua de Coco Embotellada en Pet Mediante el Enfoque
Taguchi
Conciencia Tecnológica, núm. 38, julio-diciembre, 2009, pp. 30-34
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94412327006>

- 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

Incremento de la Vida de Anaquel del Agua de Coco Embotellada en Pet Mediante el Enfoque Taguchi

Investigación

M.C. Miguel Escamilla López, M.C. Marcelo Bayardo Ceballos*, M.C. Olimpo Lúa Madrigal
Instituto Tecnológico de Colima, Departamento de Ingeniería Industrial
Avenida Tecnológico No.1 Villa de Álvarez, Colima. Tel / Fax (312) 312 99 20 y 312 63 93 Ext. 244
melitc2000@hotmail.com

Resumen

Uno de los principales problemas del agua de coco industrializada y embotellada en envase de polietileno tereftalato (pet) para su venta a detallistas, es su corta vida de anaquel, lo cual genera también altas pérdidas económicas al productor por reposición del mismo. En el presente trabajo se muestra cómo es posible incrementar la vida de anaquel de este producto, mediante diseño experimental utilizando el enfoque Taguchi para el diseño de parámetros. La base del experimento para la presente investigación fue la utilización de un arreglo ortogonal $L_8(2^7)$; es decir, un experimento de 7 factores cada uno probado a 2 niveles en 8 pruebas o experimentos. Los resultados obtenidos muestran un incremento significativo en la vida de anaquel de este producto, y consecuentemente un sustancial ahorro en las pérdidas económicas por su caducidad y devolución.

Palabras clave: Pet, arreglo ortogonal, tabla triangular, grados de libertad, curvas de respuesta, corrida óptima, análisis de varianza.

Abstract

One of the main problems in the industrialized and bottled in to high density polyethylene (hdp) coconut water for sale to retailers, is its short life which generates high economic losses to producer too due to replacement of same. The present work shows how is possible the life of this product increase, by means of experimental design, using the Taguchi's method for parameters design. The experimental design basis for this research, was an orthogonal array $L_8(2^7)$ use specifically; this is an 7 factors at 2 levels each one experiment, in 8 tests or experiments. Obtained results show that the product life was significantly increased and consequently savings in product and economic losses due to its caducity and replacement of same were obtained.

Key words: Pet, orthogonal array, triangular tables, liberty degrees, response curves, optimum run, variance analysis.

Introducción

En el mundo se cultivan actualmente 11 millones de hectáreas de cocotero y se cosechan 53.5 millones de toneladas métricas de este producto, destacándose Indonesia, Filipinas y la India como principales productores, con el 73% de la superficie cultivada y el 90% de la producción. El producto derivado más explotado a nivel mundial es el aceite, con una producción promedio anual de 3.2 millones de toneladas; en América Latina México es el séptimo productor a nivel internacional [1].

A nivel nacional se tiene una superficie sembrada de 139,000 hectáreas de cocotero, de las cuales se encuentran en producción 73,000 aproximadamente, destacando los estados de Guerrero, Tamaulipas, Quintana Roo y Colima, que cuentan con 21,500 hectáreas sembradas y representan el 15% del total nacional [2].

Los derivados del cocotero más producidos en el estado de Colima son aceite, coco rayado, fibra natural, polvillo y agua embotellada que es un producto bastante común en el estado, desde mediados de los 70's. Actualmente alrededor de 15 empresas se dedican a elaborar y comercializar este producto, de las cuales sólo dos están tecnificadas y el resto posee procesos meramente artesanales, utilizando entre 2,500 y 80,000 cocos frescos al mes, todos provenientes de las huertas locales [3].

La presente investigación fue realizada en la empresa Cocolife, S.A. de C.V., localizada en la ciudad de Colima y dedicada precisamente a la industrialización y comercialización del agua de coco. La cadena de comercialización para este producto debe ser rápida y eficiente, debido a su corta vida de anaquel que es el principal problema; las estadísticas muestran que en promedio es de 17.4 días bajo refrigeración a temperatura controlada, garantizándose sólo 15 días, lo cual genera pérdidas económicas significativas equivalentes al 4.21% de las ventas totales [4]. El objetivo que se persigue con la presente investigación es incrementar la vida de anaquel de este producto en un 20%; esto es, 3.5 días.

Fundamentos teóricos

Un experimento es una prueba o conjunto de pruebas en las cuales se introducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, con el fin de obtener información respecto a las causas de los cambios en la respuesta de salida, fundamentando así conclusiones y decisiones [5].

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 simultáneamente, generando resultados más precisos y veraces de los que se obtienen empleando el método alternativo de estudiar variable por variable [6].

Metodología Taguchi.- El método del Dr. Taguchi para el diseño de experimentos, reduce en gran medida el número de pruebas necesarias, lo que implica bajos costos y fácil aplicación a los problemas y requerimientos de la industria moderna. Taguchi propone una filosofía de la ingeniería de calidad que es ampliamente aplicable que consta de tres etapas en el desarrollo de un proceso o de un producto: diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancias. En la etapa de diseño de parámetros se determinan los valores específicos para los parámetros del producto o niveles de operación del proceso, el objetivo es especificar sus valores nominales de modo que se minimice o maximice la variable de respuesta en análisis [8].

Arreglos ortogonales.- Un arreglo ortogonal es un experimento factorial fraccionado diseñado por Taguchi el cual reduce la cantidad de pruebas requeridas por un experimento factorial a una dieciseisava parte, 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 a bajo costo. Ortogonalidad significa que los factores pueden ser independientemente evaluados; 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 [8].

Gráficas lineales y tablas triangulares.- 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 [8].

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 el primero y segundo nivel de ese factor [6].

Curvas de respuesta.- Son gráficas que representan los efectos principales obtenidos en el experimento de los niveles de un factor contra ambos niveles de otro, cuando las dos curvas son paralelas, significa que no existe interacción entre los factores; si no son paralelas y se cruzan significa que los factores interactúan; cuando esto sucede, el efecto de un factor depende del nivel del otro [6].

La distribución F.- Se emplea para probar si dos muestras provienen de poblaciones que poseen varianzas iguales; esta prueba es útil para determinar si una población normal tiene una mayor variación que la otra y también se aplica cuando se trata de comparar simultáneamente varias medias poblacionales. La comparación simultánea de varias medias poblacionales se conoce como análisis de varianza (anova) [7].

Análisis de varianza (anova).- Es una herramienta de decisión con bases estadísticas para detectar cualquier diferencia en el desempeño de diferentes grupos de ítems probados en un experimento; para llevar a cabo este análisis, deben calcularse las sumas de cuadrados de cada columna al igual que la variación total [8].

Utilizando arreglos ortogonales, los grados de libertad requeridos para el experimento completo dependen del número de factores e interacciones de interés y del número de niveles; los grados de libertad para cada factor o interacción, son el número de niveles de prueba menos 1 y los grados de libertad para un experimento, son el número de pruebas del arreglo menos 1 [8].

Materiales y métodos

Característica de calidad a mejorar.- Es la vida de anaquel del agua de coco embotellada en envase de Pet, la cual se cuantifica en días; de otra forma, es el número de días que tarda en descomponerse; actualmente es de 17.4 días bajo refrigeración a temperatura controlada. Esta característica es básica en productos alimenticios ya que queda de manifiesto en la etiqueta del producto mediante su fecha de caducidad e impacta su cadena de comercialización. Esto influye en la decisión de compra del intermediario y del consumidor, ya que un alimento con poca vida de anaquel siempre es mal visto por ambos e implica mayores riesgos de pérdidas.

Niveles de prueba del experimento.- Para plantear adecuadamente un problema debe utilizarse todo el conocimiento no estadístico que se tenga, mantener el diseño y el análisis tan simples como sea posible, reconocer la diferencia entre la significación práctica y la estadística y tener presente que los experimentos usualmente son iterativos. Un diseño exitoso requiere que se conozcan los factores importantes, los intervalos en los que estos factores van a ser investigados, el número apropiado de niveles para cada factor y las unidades de medición adecuadas para cada factor y sus respuestas; estas condiciones se van afinando a través de varios diseños experimentales [5].

De acuerdo a lo anterior, a la experiencia que se tiene en el área y debido a que este es un diseño experimental de arranque, se decidió realizar un experimento simple; es decir a 2 niveles para cada factor de prueba, cuyos valores se determinaron con base a la experiencia que el personal de la empresa Cocolife tiene en este tipo de procesos, así como a los registros históricos del mismo.

Determinación de factores principales.- Con base a experimentos preliminares simples y a la experiencia que se tiene a través de varios años en la industrialización del agua de coco, se determinó que los factores que afectan la vida de anaquel del agua de coco sin considerar incrementar la cantidad de conservador en el producto, tienen que ver exclusivamente con el proceso de pasteurización y son los siguientes:

Temperatura máxima (A).- Se refiere al calor máximo que adquiere el producto y que de acuerdo a diversos autores debe estar entre los 55°C y los 70°C; no menor que 55 porque el porcentaje de bacterias muertas sería muy bajo y no mayor a 70 porque se descomponen las vitaminas y se pierden propiedades benéficas del producto. Con base a experimentos preliminares, se ha determinado que la temperatura máxima debe ser de 67°C, ya que esta es la máxima resistencia de los envases de pet en este proceso sin colapsarse; de acuerdo a esto, los niveles de prueba para este factor son 55°C y 67°C.

Temperatura mínima (B).- Asimismo, el agua de coco debe enfriarse hasta alcanzar una temperatura menor a 10°C durante un tiempo no mayor de 2 horas de acuerdo a diversos autores. Aquí los valores para los niveles de prueba se establecieron en 7°C y 12°C, con el fin de explorar el efecto de un mayor y menor choque térmico en la vida del producto.

Tiempo a máxima temperatura (C).- Debe mantenerse cierto tiempo el producto a máxima temperatura; diversas fuentes bibliográficas señalan que deben ser 30 minutos. Para el presente experimento los niveles de prueba determinados son de 25 y 35 minutos, con el objetivo de comprobar si realmente son

necesarios 30 minutos y de no ser así, determinar un tiempo que mejore la característica de calidad.

De esta forma, la relación entre los factores considerados y la característica de calidad en análisis, se muestra en forma gráfica en la figura 1, mientras que cada factor con su nomenclatura y sus niveles de prueba, se muestran en la tabla 1.

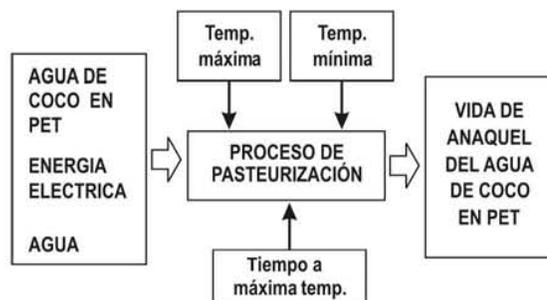


Figura 1. Relación entre factores y la característica de calidad.

FACTOR	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Tiempo a máxima temperatura
NOMENCLATURA	A	B	C
NIVEL ALTO	67 °C	12 °C	35 minutos
NIVEL BAJO	55 °C	7 °C	25 minutos

Tabla 1. Factores experimentales y niveles de prueba.

Interacciones a considerar.- Ya que hasta aquí solo se tienen tres factores principales, también se buscó determinar si interactuaban entre estos; es decir, también se consideraron en el experimento las tres interacciones dobles y la interacción triple, como se muestra a continuación:

Factores principales: A, B, C
 Interacciones dobles: Ax B, Ax C, Bx C
 Interacción triple: Ax Bx C

De este modo, se tiene un experimento con 3 factores principales, 3 interacciones dobles y 1 interacción triple; como cada interacción se trata como un factor más, ahora se tiene un experimento 2⁷; es decir, de 7 factores a 2 niveles cada uno.

Selección del arreglo ortogonal.- Ya que se tiene un experimento 2⁷, esto implica la realización de 2x2x2x2x2x2x2 = 128 pruebas o experimentos; sin embargo utilizando los arreglos ortogonales del Dr. Taguchi se obtiene un ahorro significativo en el número de pruebas. Con base en esto, el arreglo adecuado

para este experimento es el arreglo de la serie de 2 niveles L_8 ; un arreglo que consta de solo 8 pruebas y que puede albergar hasta 7 factores, en la figura 4 se muestra el arreglo seleccionado junto con la asignación de los factores a sus columnas. Este arreglo provee 7 grados de libertad totales para el experimento ($N-1$), correspondientes a cada una de sus columnas

Asignación de los factores al arreglo ortogonal.- Seleccionado el arreglo, el siguiente paso es determinar la asignación de los factores a sus columnas, para lo cual se utilizó la tabla triangular correspondiente al arreglo L_8 ya que se tiene una interacción triple en el experimento y la grafica lineal respectiva solo provee asignación en dos dimensiones; es decir, solo para interacciones dobles, en la tabla 2 se muestra esta tabla con la asignación de los factores del experimento.

FACTOR	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC
COLUMNA	2	3	4	5	6	7
A	1	3	5	4	7	6
B	2	-	6	7	4	5
AxB	3	-	7	6	5	4
C	4	-	-	1	2	3
AxC	5	-	-	-	3	2
BxC	6	-	-	-	-	1

Tabla 2. Tabla triangular del arreglo L_8 con la asignación de los 7 factores.

De esta forma, el arreglo ortogonal L_8 con los 7 factores del experimento ya asignados a sus 7 columnas, se muestra en la tabla 3; esto es un experimento de alta resolución, dado que el arreglo tiene todas sus columnas ocupadas, lo cual significa que se dejan pocos grados o ninguno para el error experimental.

	FACTORES						
	A	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tabla 3. Arreglo ortogonal L_8 con los factores de prueba asignados

Desarrollo de las pruebas.- Las pruebas experimentales se realizaron en las instalaciones de la empresa Cocolife, la medición de la característica de calidad se realizó en días contándose a partir del día y en la hora en que el producto salió del proceso

de pasteurización; para cada una de las 8 pruebas del experimento, se fabricaron 30 botellas de agua de coco; esto es, una muestra experimental total de 240 botellas, las cuales se mantuvieron en refrigeración bajo temperatura controlada tal y como se realiza por los detallistas y en equipo idéntico. A partir del décimo día de su elaboración, se destapó y degustó diariamente una botella de cada una de las 8 pruebas; el estado del agua de coco se calificó simplemente como “buena” o “mala”; la botella destapada y degustada en cada día de cada prueba, fue seleccionada aleatoriamente de las restantes. Una vez que se detectó una botella con agua de coco en descomposición, la suposición fue que el agua de las botellas restantes de esa prueba también está en descomposición; ya que al descomponerse una, no es posible garantizar una mayor vida de las restantes. En todo caso, el resultado de cada prueba fueron los días transcurridos menos 1; es decir, los días que el agua de coco se mantuvo en buen estado, este resultado se registró para cada una de las 8 pruebas.

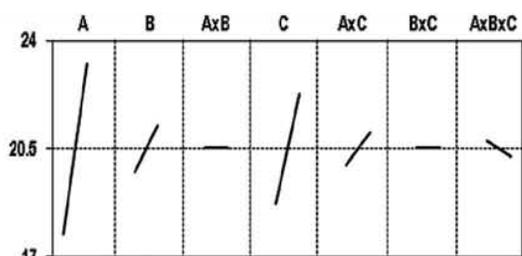
Resultados y discusión

La vida de anaquel del agua de coco para cada una de las 8 pruebas del experimento expresada en días, se muestra en la tabla 4. Las curvas de respuesta de los efectos principales para cada factor e interacciones del arreglo, se muestran en la figura 2, donde se aprecia que los factores principales (A, B, C), tienen los mayores efectos sobre la vida de anaquel del agua de coco expresada en días en el eje vertical.

Para el cálculo del análisis de varianza fue necesario eliminar aquellos factores o interacciones que representaron menos del 10% de la fuente de variación total, de tal forma que el error pudiera tener asignados ciertos grados de libertad; esto se muestra en la tabla 5, donde se observa que las 3 interacciones dobles y la interacción triple fueron eliminadas; ya que se encontró que no existe interacción entre los factores.

PRUEBAS	FACTORES							VIDA DE ANAQUEL
	A	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC	
1	1	1	1	1	1	1	1	15 días
2	1	1	1	2	2	2	2	19 días
3	1	2	2	1	1	2	2	16 días
4	1	2	2	2	2	1	1	21 días
5	2	1	2	1	2	1	2	21 días
6	2	1	2	2	1	2	1	24 días
7	2	2	1	1	2	2	1	23 días
8	2	2	1	2	1	1	2	25 días

Tabla 4. Resultados del experimento realizado.


Figura 2. Curvas de respuesta de los efectos principales.

FUENTE	SS	GL	MS	F ₀	
A	60.500	1	60.500	96.800	Sig. al 1%
B	4.500	1	4.500	7.200	Sig. al 5%
C	24.500	1	24.500	39.20	Sig. al 1%
AxB	--	-	--	-	No sig.
AxC	--	-	--	-	No sig.
BxC	--	-	--	-	No sig.
AxBxC	--	-	--	-	No sig.
Error	2.500	7	0.625		
TOTAL	92.000				

Tabla 5. Análisis de varianza para el experimento

Corrida óptima.- De esta forma, la corrida óptima es A₂, B₂, C₂, que se deduce de la figura 2 y se aprecia en el último renglón de la tabla 4.

Beneficios.- La corrida óptima implantada en el proceso de producción durante 10 días, dio como resultado un incremento promedio en la vida de anaquel del agua de coco de 22.41%, con una disminución en la devolución de unidades del 3.13%, lo cual representa un ahorro de \$186.00 diariamente a un precio de venta del producto de \$6.00; esto es \$5,580.00 por mes, como se observa en la tabla 6.

DÍA	PRODUCCIÓN (unidades)	VIDA DE ANAQUEL (días)	CADUCIDAD		PÉRDIDA (\$)
			unidad	%	
1	980	22	10	1.02	60.00
2	1,100	21	15	1.36	90.00
3	1,050	20	17	1.62	102.00
4	950	23	5	0.53	30.00
5	1,020	21	14	1.37	84.00
6	1,150	18	12	1.04	72.00
7	1,045	20	16	1.53	96.00
8	925	23	4	0.43	24.00
9	900	24	9	1.00	54.00
10	1,030	21	8	1.78	48.00
PROM.	1,015	21.3	11	1.08	66.00
ANTES	997	17.4	42	4.21	252.00
MEJORA	+18	+3.9	-31	-3.13	-186.00
(%)	+1.8	+22.41	-73.8	-74.3	-73.8

Tabla 6. Beneficios obtenidos

Conclusiones

Se logró un 2.41% más del objetivo planteado, al obtenerse un incremento de 3.9 días en la vida de anaquel del agua de coco, con un ahorro mensual proyectado significativo de \$5,580.00.

Los factores seleccionados en el experimento impactan significativamente la característica de calidad, pero no existe interacción entre estos.

Es posible garantizar a partir de esto, 20 días de vida de anaquel del producto.

El siguiente paso a realizar es un nuevo experimento con más factores o niveles, con el fin de mejorar los resultados obtenidos.

Referencias

- [1] Consejo Nacional del Cocotero. www.conacoco.com.mx.
- [2] SAGARPA, Centro de Estadística Agropecuaria www.sagarpa.gob.mx.
- [3] "Caracterización de la cadena agroalimentaria y agroindustrial del cocotero en Colima" 2005, www.conacoco.com.mx.
- [4] Cocolife, S.A. de C.V., Archivos históricos de la empresa.
- [5] Montgomery, D. C., (1991), *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Editorial Iberoamérica (México).
- [6] Hernández, M. J., (2001), *Diseño de mezclas para tabicón de concreto por medio de diseño experimental, caso ALPE*, México, ITC.
- [7] Instituto Maurer, inferencias relativas a la variabilidad, www.institutomaurer.com.mx.
- [8] Ross, P. J., (1988), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw Hill (USA).

* Egresado del posgrado de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Colima.

Artículo recibido: 14 de enero de 2009

Aceptado para publicación: 30 de septiembre de 2009