

## Desarrollo de una ecuación matemática para el control de los carotenoides en el proceso de refinación del aceite crudo de palma en Venezuela

Por N. Salinas Trejo <sup>1\*</sup> y E. Pacheco de Delahaye <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Ciudad Universitaria de Bárbula, Avda. Salvador Allende. Edo. Carabobo. Venezuela (email: nsalinas@uc.edu.ve).

<sup>2</sup> Instituto de Química y Tecnología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Avda. Universidad. Maracay. Edo. Aragua. Venezuela

### RESUMEN

**Desarrollo de una ecuación matemática para el control de los carotenoides en el proceso de refinación del aceite crudo de palma en Venezuela.**

El presente estudio tiene como objetivo controlar los factores que permitan la estabilidad de los carotenoides en el proceso de refinación del aceite crudo de palma en Venezuela. Se analizó la correlación e interacción que existen entre dichos factores, a través del diseño de experimento, por lo cual se manejaron dos niveles y varios tratamientos para obtener la correlación buscada, permitiendo finalmente un mayor dominio del proceso de refinación con resultados favorables en la retención de los carotenos del aceite. Los factores estudiados mediante la implementación de un diseño de experimento factorial 2<sup>3</sup> fueron % de tierra blanqueadora, temperatura y tiempo en el desodorizador. Resultando que los efectos individuales como: Temperatura (A), y Tiempo (B), fueron significantes, así como la interacción temperatura-tiempo (AB) para un  $\alpha$  de 0.05.

*PALABRAS-CLAVE: Aceite de palma - Carotenoides - Venezuela.*

### SUMMARY

**Development of a mathematical equation to perform carotenoids control in the refining crude palm oil process in Venezuela.**

The objective of the present study is to control the factors that allow the stability of carotenoids during the refining process of crude palm oil in Venezuela. The correlation and interaction that exist among these factors were analyzed, through the experiment design. Two levels and several treatments were managed in order to obtain the desired correlation, which allows a greater domain of the refining process with favorable results in the retention of carotenes in the oil. The factors studied by the implementation of a design of factorial experiment 2<sup>3</sup> were: % of bleaching earth, temperature, and time in the deodorizer. The resulting individual effects as: Temperature (A), and Time (B), were significant, as well as the interaction temperature-time (AB) for an  $\alpha$  of 0.05.

*KEY-WORDS: Carotenoids - Palm oil - Venezuela.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La refinación del aceite palma es llevada a cabo en un proceso que se divide en diferentes etapas siendo una de las más importantes la refinación física, donde el aceite pretratado es alimentado a un

desodorizador a una temperatura aproximada de 260 °C, con la finalidad de destilar la mayor cantidad de ácidos grasos libres, carotenoides, algunos compuestos anisidínicos y humedad presentes en el aceite. En esta etapa el aceite pierde olores y sabores desagradables por la acción de la temperatura, vapor de agua, y alto vacío que provocan el arrastre de los componentes volátiles responsables del sabor y olor (Affandi y Thiagarajan, 1997; Treviño, 2001).

La destilación depende de diferentes variables de operación, tales como: temperatura, tiempo, vacío y condiciones del producto en proceso (Drescher et al, 1999). Actualmente, se conoce que operacionalmente inciden en el proceso los factores antes mencionados, para lograr un aceite prácticamente incoloro, o sea sin presencia de carotenoides, los cuales junto con los tocoferoles y tocotrienoles ejercen un efecto de protección antioxidante en el aceite, así como su importancia en la nutrición humana, y sus excelentes propiedades terapéuticas en la protección de enfermedades cardiovasculares y cancerígenas (Van der Berg, 2000; West, 2000; Roodembury, 2000; Hof, 2000; Hernández, 2001)

Los factores que inciden en el proceso para la obtención de un aceite rico en estos micronutrientes (evitando su destrucción térmica) son los mismos que inciden en la obtención de un aceite claro, sin embargo no se conoce si con la misma magnitud, ni tampoco si existen interacciones entre estos, si hay otra u otras variables que puedan incidir con gran fuerza sobre dicho proceso, y si existe correlación entre ellos. Por tal razón, no se encuentran determinadas las diferentes condiciones de operación para que el producto final sea un aceite rico en carotenoides.

Este trabajo tiene como objetivo elaborar un modelo matemático que represente los factores que permitan controlar la estabilidad de los carotenoides en el proceso de refinación del aceite crudo de palma. Los resultados que se obtienen pueden ser de gran interés en el sentido de determinar que factores tienen mayor significancia y analizar la interacción

que existe entre ellos con la finalidad de controlar las variables que tienen mayor incidencia durante el proceso de refinación para la obtención de un aceite rico en carotenoides.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Materia prima

El estudio se llevo a cabo partiendo de un aceite crudo de palma proveniente de una planta extractora venezolana (Palmonagas Empresas Polar).

### 2.2. Diseño de Experimento

Se implementó un metodología de diseño de experimento (Montgomery, 1991; Philip, 1998), que permitiera conocer cuales son las variables que tienen mayor incidencia en el proceso de refinación, a través de los siguientes pasos:

i) Identificación y jerarquización de los factores que influyeron preponderantemente en el proceso; partiendo de condiciones preestablecidas que se mencionan a continuación:

Pretratamiento (a nivel de planta piloto): calentamiento a 110°C, en presencia de vacío. Adición de hidróxido de sodio. Adición de Ácido Cítrico. Adición de

la Sílica (Trisyl®) y la tierra de blanqueo. Enfriamiento del aceite a una temperatura inferior a los 100 °C. Filtrado del aceite.

Desodorización (a nivel de planta piloto): Carga de aceite pretratado de 15 Kg. Desodorización a 180 y 200 ° C en presencia de vacío, con toma de muestra a los tiempos fijados.

ii) Establecimiento de los niveles críticos para los factores previamente identificados y jerarquizados.

iii) Determinación de las combinaciones posibles entre las variables y las condiciones de operación, esto quiere decir la combinación de todos los valores.

iv) Evaluación del diseño en relación a tamaños de muestra manejables (número de muestras a tomar), para así optimizar el tiempo del experimento, ya que existen diseños de experimentos donde el número de tratamientos a aplicar seria muy grande aumentando así los costos y el tiempo de ejecución.

v) Verificación del modelo en relación a su posible medición del efecto combinado sobre la respuesta de las diferentes variables en estudio, si estas interactúan entre sí, y de sus efectos individuales.

Se analizaron las diferentes metodologías conocidas para realizar el diseño de experimentos, así como el estudio de casos de aplicación industrial de

Tabla I  
Factores y niveles analizados para el diseño de experimento

Factores Niveles	A	B	C
Alto (1)	200 °C	98 min	2.0 %
Bajo (-1)	180 °C	86 min	0.8 %

A = Temperatura del desodorizador

B = Tiempo en el desodorizador

C = porcentaje de tierra blanqueadora

Tabla II  
Diversos experimentos aplicados y sus variables

EXPERIMENTO	A (°C)	B (min)	C (%)
1	180	86	0.8
2	180	86	2.0
3	180	98	0.8
4	180	98	2.0
5	200	86	0.8
6	200	86	2.0
7	200	98	0.8
8	200	98	2.0

esta técnica de análisis estadístico (Salinas et al., 2001), y se seleccionó la que mejor se adaptó al problema en estudio. La metodología seleccionada fue el diseño factorial 2<sup>3</sup>. Los factores que se estudiaron y sus respectivos niveles son mostrados en la Tabla I. Los experimentos aplicados por triplicado, según el modelo de diseño, se muestran en la Tabla II.

A los datos obtenidos de los diferentes tratamientos se le aplicó una comprobación de los supuestos del ANAVAR. Posteriormente utilizando un diseño de bloques al azar monitoreando como resultado el contenido de carotenos determinados espectrofotométricamente a 450 nm (US Pharmacopeia National Formulary 22nd edición. Rockville MD)(González et al., 2001), se le aplicó el procedimiento estadístico a través del programa estadístico SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC; release 8.1), para determinar así las variables que mayor influyen en el proceso de refinación del aceite rico en carotenoides, así como sus interacciones.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los resultados presentados en la Tabla III se aplicaron los supuestos del ANAVAR, donde los coeficientes obtenidos

Test Shapiro-Wilk (normalidad)	0,9008
Test Bartlett's (homogeneidad)	0,6529
No Aditividad	0,6356
Run Test (independencia)	0,0593

demonstraron que (i) los efectos ambientales y los tratamientos son aditivos, y (ii) los errores experimentales se distribuyen normal e independientemente en torno a una media cero con una varianza común, y presentan aleatoriedad.

Para comprobar la idoneidad del modelo y verificar la veracidad de los resultados, se realizó un análisis de residuo por medio del modelo de regresión:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_1 \beta_2 x_1 x_2$$

en el cual los coeficientes de regresión ( $\beta$ ) son un medio de las estimaciones de los efectos correspondientes (temperatura, tiempo y % de tierra), o es la media de las observaciones realizadas,  $x_1$  es una variable codificada que representa la temperatura,  $x_2$  es otra variable codificada que representa el tiempo,  $x_3$  es la variable codificada que representa el porcentaje de tierra, y otra variable es la interacción significativa obtenida.

Cuando las variables naturales sólo tienen dos niveles (como es el caso), ésta codificación produce la familia de notación  $\pm 1$  para los niveles de las variables codificadas.

La gráfica de probabilidades acumuladas (Figura 1) en orden ascendente, presenta una clara tendencia a una recta obtenida, se concluye que no existe alguna indicación de no normalidad, ni evidencias

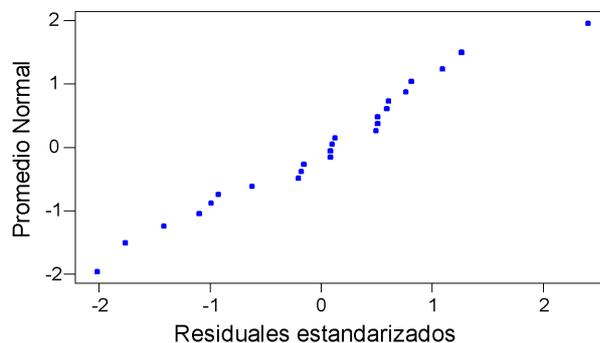


Figura 1  
Probabilidades acumuladas de los residuos.

que sugieran posibles residuos inusitados. Por lo tanto, indica que se obtuvieron resultados satisfactorios, por lo que no hay motivos para sospechar que existan problemas en cuanto a la validez de las conclusiones obtenidas.

El análisis de varianza indica que solo la interacción temperatura-tiempo (AB) presentó significancia para un  $\alpha$  de 0.05 y un  $\alpha$  de 0.01. Así mismo se observa que la interacción AC (temperatura-% tierra), y la interacción BC (tiempo-% tierra), no presentaron significancia, lo que indica que ambos factores en cada caso actúan independientemente sobre la variable respuesta. Y con respecto a la interacción entre ABC (Temperatura-Tiempo-% tierra) tampoco se obtuvo significancia. Así mismo se constató que entre bloques no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto no hay diferencias significativas entre los bloques, indica que el % de carotenoides final obtenido entre los mismos tratamientos en los distintos bloques no fueron tan diferentes como para hacer claramente eficiente el control local, sin embargo el coeficiente de variación fue bajo de 4.430419, indicando que el proceso fue bien llevado. Los efectos individuales como: Temperatura (A), y Tiempo(B), fueron significativos, sin embargo el porcentaje de tierra (C) no presentó significancia.

Se puede observar que el porcentaje de carotenoides al variar la temperatura de desodorización de menor (180 °C) a mayor (200 °C), da como resultado una mayor disminución de los carotenos a medida que se aumenta la temperatura, siendo igual situación la encontrada por Hui (1996), así como al aumentar el tiempo, el cual ejerce mayor efecto en la disminución de los carotenos que la temperatura.

Dado que la interacción significativa fue la AB (Temperatura-Tiempo) se procedió a realizar una prueba de comparación de medias para observar en cual nivel se presentaba significancia. Aplicando la comparación de medias de SNK, se obtuvo que los valores calculados del estadístico W, fueron en todos los casos menores al valor obtenido para la diferencia, por lo tanto esto indica que todas las diferencias fueron significativas.

Tabla III  
Variación del contenido de carotenos de Aceite pretratado y desodorizado.

Experimento	Muestra	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)	% de tierra	ppm β-caroteno experimental	ppm β-caroteno teórico
	Pretratado 1	---	---	0.8	440.15	
	Pretratado 2	---	---	2.0	338.56	
1	1	86	180	0.8	154.88	148.78
	2	86	180	0.8	146.24	
	3	86	180	0.8	156.99	
2	4	86	180	2.0	140.23	148.78
	5	86	180	2.0	145.56	
	6	86	180	2.0	148.77	
3	7	98	180	0.8	134.35	117.70
	8	98	180	0.8	121.78	
	9	98	180	0.8	135.36	
4	10	98	180	2.0	125.63	117.70
	11	98	180	2.0	136.78	
	12	98	180	2.0	124.22	
5	13	86	200	0.8	100.19	102.12
	14	86	200	0.8	102.86	
	15	86	200	0.8	110.67	
6	16	86	200	2.0	99.15	102.12
	17	86	200	2.0	98.83	
	18	86	200	2.0	100.98	
7	19	98	200	0.8	61.58	59.06
	20	98	200	0.8	61.03	
	21	98	200	0.8	58.09	
8	22	98	200	2.0	56.25	59.06
	23	98	200	2.0	57.23	
	24	98	200	2.0	60.21	

Una vez que se identificaron los factores e interacciones con mayor incidencia en el proceso de refinación para la obtención de un aceite de palma rico en carotenos, por medio del paquete estadístico Minitab se obtuvieron los coeficientes de regresión de los factores principales y la interacción significativa como es temperatura-tiempo. La ecuación obtenida se presenta a continuación:

$$\hat{Y} = \text{ppm C} = 109.91 - 29.32 * t - 15.54 * T - 5.99 T * t$$

donde:

$\hat{Y}$  = ppm de carotenos obtenido como resultado de la refinación

T = nivel de temperatura de desodorización según el experimento aplicado, es decir +1 ó -1.

t = nivel de tiempo de desodorización según el experimento aplicado, es decir +1 ó -1.

El efecto de cada factor sobre los carotenoides pudo observarse de los coeficientes de cada factor significativo en la ecuación. El orden de influencia negativa sobre los carotenos fue: tiempo de desodorización seguido de la temperatura de desodorización, y posteriormente la interacción entre ambos factores.

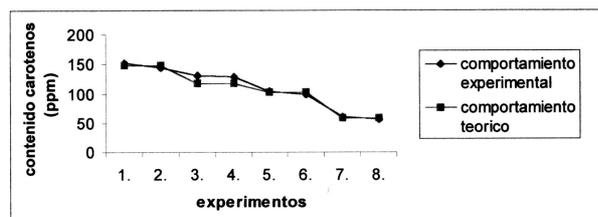


Figura 2  
Comportamiento experimental y teórico de los carotenos en el aceite de palma.

En la Tabla III se observan los resultados de carotenos teóricos obtenidos por la aplicación de la ecuación en los experimentos realizados, resultando una variación de un 4.30% lo cual indica que la ecuación planteada se ajusta muy bien a los resultados obtenidos, como puede observarse en la Figura 2.

#### 4. CONCLUSIONES

De los factores estudiados como temperatura y tiempo de desodorización, y porcentaje de tierras de blanqueo en el proceso de refinación del aceite de

palma, la temperatura y el tiempo son los que presentan incidencia significativa (a un nivel aproximado del 5 y 1%), en la retención de los carotenoides en un aceite de palma refinado.

La interacción de las variables temperatura de desodorización y tiempo de desodorización fue la única significativa ( $p > 0.05$ ) en el proceso de refinación de un aceite de palma rico en carotenoides.

La ecuación matemática obtenida representa los factores que permiten controlar el proceso de refinación de un aceite de palma rico en carotenoides en una planta refinadora en Venezuela.

### AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido realizado gracias a la colaboración de Empresas Polar (Planta Mavesa Alimentos), y a la Facultad de Agronomía de la UCV a las cuáles los autores expresan su agradecimiento.

### BIBLIOGRAFIA

- Affandi M., Thiagarajan T. 1997. Refining and downstream proceeding of palm and palm kernel oil. *17 th. Palm Oil Familiarization Program*. September 5.
- Hui YH. 1996. Edible Oil and Fat Products: Processing Technology, en Bailey AE (Ed.) Volumen 4<sup>th</sup> of Baileys Industrial Oil and Fats Products. Wiley-Interscience, New York
- Descher, M., Peter S., Weidner E. 1999. Investigations on physical refining of animal fats and vegetable oils. *Fett/Lipid* **101**, 138-141.
- Gonzalez E., Montenegro M., Nazareno M., Lopez B. 2001. Carotenoid composition and vitamin A value of an Argentinian squash (cucúrbita moschata). *Arch Latinoamerican Nutr.* **51**, 395-399.
- Hernández E. 2001. Latest developments on the use of soluble silicates to refine vegetables Oils. Proceedings 9<sup>th</sup> fats and oils Latin American Congress of AOCS. San José. Costa Rica.
- Hof K., West C., Weststrate J., Hautvast J. 2000. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *J. Nutrition* **130**, 503-506.
- Montgomery D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos, Editorial Iberoamericana S.A., México.
- Philip J. 1998. Fractional factorial experimental design as a teaching tool for quantitative analysis. *J. Chem. Edu.* **75**, 357-359
- Roodembury A., Leenen R., Hof K. 2000. Amount of fat in the diet affects bioavailability of lutein esters but not of alfa-caroteno, beta-carotene, and vitamin E in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **71**, 1187-1193.
- Salinas N., Herrera J., Franquiz P., Yannuzzo F. 2001. Desarrollo de un modelo matemático empírico para el control de la operación de secado. 5<sup>o</sup> Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos, Campos do Jordao, Brasil.
- Treviño F. 2001. Breves consideraciones sobre refinación de aceites. Proceedings 9<sup>th</sup> Fats and Oils Latin American Congress of AOCS. San José. Costa Rica.
- Van der Berg H., Faulks R., Granado F., Hirschberg J., Olmedilla B., Sandmann G., Southon S., Stahl W. 2000. Review: The potencial for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *J. Sci. Food. Agric* **80**, 880-912.
- West C. 2000. Meeting requeriments for vitamin A. *Nutrit Rev* **58**, 341-345.

Recibido: Julio 2003  
Aceptado: Abril 2004