

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La realización del blanqueo es una etapa del proceso de refinación de gran importancia, de ahí la necesidad de tomar en cuenta todos los parámetros que afectan la calidad del aceite durante el blanqueo. En el presente trabajo se determinaron: el tiempo de contacto, temperatura y cantidad de tierras, para obtener un aceite con bajo contenido de peróxidos y alta retención de tocoferoles (<1.0 mEq/Kg de aceite y >87% de retención de tocoferoles).

Caracterización Química del Aceite de Soya Neutralizado

La caracterización fisico-química del aceite neutralizado, muestran que este cumple con los estándares de calidad para los aceites neutralizados según Erickson (1995) y Villa (2001), principalmente en el valor de peróxidos (0.292 ± 0.023 mEq/Kg. de aceite), ácidos grasos libres (0.456 % de ácido oleico), color lovibond (70 Amarillo 8.3 Rojo), color espectrofotométrico (14.4) (**Tabla 9**). Los parámetros más importantes para un aceite neutralizado son el contenido de ácidos grasos libres y jabón los cuales se traducen en pérdidas en la etapa de blanqueo, ya que inactivan los sitios activos de las tierras. Estos compuestos fueron reducidos hasta un 50% durante el blanqueo, esto debido a las condiciones adecuadas de la cantidad de tierras de blanqueo, temperatura y el tiempo de contacto en el aceite además de la ausencia de oxígeno.

El contenido de elementos traza en el aceite neutralizado también se puede observar en la **Tabla 9**. Estos datos muestran que en el aceite neutralizado se encontraron niveles muy bajos de elemento traza, con excepción del cobre el cual estaba en una concentración de 0.155 ppm. La ausencia de metales le proporciona al aceite estabilidad oxidativa por considerarse estos elementos prooxidantes. El contenido de fósforo se encontró en un nivel de <1.0 ppm indicativo de un proceso de desgomado adecuado. Esto asegura que no se

Tabla 9. Caracterización Físico-Química del Aceite de Soya Neutralizado

Análisis	Promedio	Ac. Neutralizado ²
Valor de peróxidos (mEq/Kg.)	0.292 ± 0.023	5.0
Ácidos grasos libres (% ac. oleico)	0.456 ± 0.001	1.32
Color Lovibond ¹	70 A 8.3 R	10 A 12 R
Color espectrofotométrico	14.4 R ± 0.1	--
Clorofila A (ppm)	1.14 ± 0.01	1.16
Clorofila B (ppm)	0	0
Valor de <i>p</i> -anisidina (mmol/Kg.)	0.885 ± 0.066	--
Jabón (ppm de oleato de sodio)	37.67 ± 1.03	50
Dienos conjugados (%)	0.167 ± 0.0005	--
Elementos traza (ppm)		
Fósforo (P)	< 1.0 ± 0	< 10
Fierro (Fe)	< 0.15 ± 0	< 1.5
Cobre (Cu)	0.155 ± 0.0025	< 0.05
Calcio (Ca)	< 0.15 ± 0	2.5 - 1.0
Magnesio (Mg)	< 0.25 ± 0	0.5 - 1.0

¹ = Celda de 51/4 pulgada. A = Amarillo, R = Rojo
 Límites de detección: P, Fe, Cu, Ca, Mg = 1.0 ppm.

² : Según Erickson (1995) y Villa (2001).

--: No se realiza

tendrán problemas en el blanqueo del aceite, ya que tanto el fósforo como los minerales inactivan los sitios de las tierras ácido activadas (Erickson, 1995; Villa, 2000).

En la **Tabla 10** se muestra el contenido de α - tocoferol, β - tocoferol, γ - tocoferol y δ - tocoferol del aceite de soya neutralizado. Como se puede observar el aceite presenta una distribución característica de los isómeros de tocoferoles del aceite de soya γ - tocoferol > δ - tocoferol > α - tocoferol > β - tocoferol. Dichos resultados coinciden con los reportados por Chase y Col, (1994), Frandsen (1996) y Kramer y Col, (1997) para un aceite de soya. Esta característica es de gran importancia debido a que se considera que el aceite de soya posee un buen potencial antioxidativo *in vitro* ya que contiene una mayor proporción de γ y δ tocoferol, los cuales poseen el mayor poder antioxidante que el α - tocoferol (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). El contenido de tocoferoles totales en aceite de soya neutralizado fue de 925.27 ppm, lo cual coincide con el reportado por Medina (2000), Ferrari (1996), Jung y Col, (1989).

El ASN mostró un perfil de ácidos grasos similar al propuesto por la Norma Oficial Mexicana (1985), para un aceite de soya (**Tabla 11**), destacándose un alto contenido de ácidos poliinsaturados como es el ácido linoleico y el ácido linolénico. Además no se encontró ningún tipo de isómeros pertenecientes a estos ácidos grasos lo cual concuerda con los datos reportados por Medina, (2000), quien indica que la formación de isómeros se presenta en la etapa de desodorización. El cromatograma característico de un aceite de soya se muestra en la **Figura 9**.

Efecto de cada una de las Variables sobre el Valor de Peróxidos (VP), Retención de Tocoferoles (RTOCOLES) y Color

El blanqueo es la penúltima etapa en el proceso de refinación de los aceites vegetales y es considerada como la parte mas importante del mismo. El objetivo principal de esta operación es eliminar sustancias que proporcionan al

Tabla 10. Contenido de Tocoferoles del Aceite de Soya Neutralizado

Tocoferoles (ppm)	Promedio ¹	Aceite Neutralizado ²
α - tocoferol	83.37 \pm 0.03	62 – 88
β - tocoferol	52.13 \pm 2.78	49 – 55
γ - tocoferol	693.60 \pm 2.29	663 – 683
δ - tocoferol	96.17 \pm 5.6	104 – 115
Tocoferoles totales	925.27	878 – 938

¹ Promedio de tres repeticiones² Según Ferrari, 1996.

Tabla 11. Composición de Ácidos Grasos del Aceite de Soya Neutralizado (mg/ 100 mg de aceite).

Acidos grasos	Promedio ¹	NOM
Mirístico (C14:0)	0.15 ± 0.02	0 - 0.5
Palmítico (C16:0)	10.24 ± 0.02	7 - 12
Estéarico (C18:0)	3.48 ± 0.28	2 - 5.5
Oleico (C18:1)	22.86 ± 0.07	20 - 40
Linoleico (C18:2)	53.44 ± 0.27	40 - 57
<i>trans</i>	0 ± 0	0
Linolénico (C18:3)	7.49 ± 0.20	5 - 11
<i>trans</i>	0 ± 0	0
Araquidico (C20:0)	0.16 ± 0.10	0 - 1.0

* Promedio de tres repeticiones
 Limite de detección 0.1
 NOM : Norma Oficial Mexicana

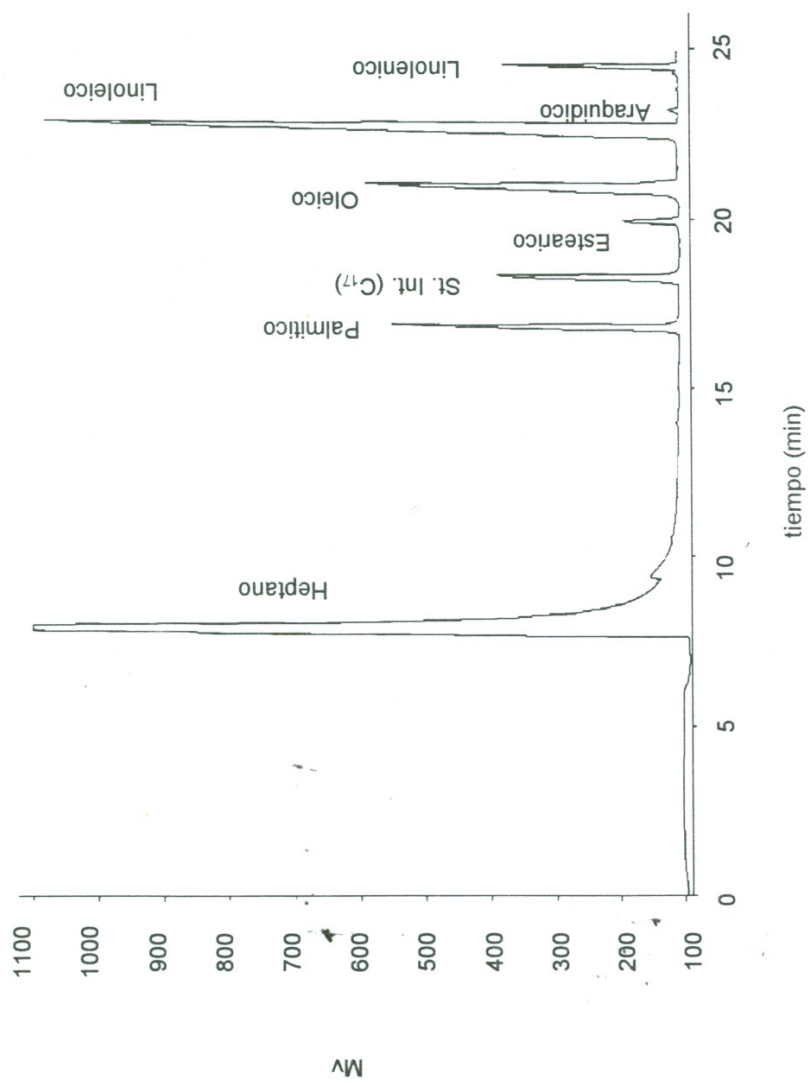


Figura 9. Cromatograma Típico del Perfil de Acidos Grasos para un Aceite de Soya.

aceite color e inestabilidad oxidativa. En esta etapa los compuestos no volátiles se transforman en volátiles (aldehídos y cetonas) que serán eliminados en la siguiente etapa (desodorización).

Como se ha mencionado con anterioridad en la etapa de blanqueo se dan dos diferentes tipos de reacciones: de transformación y de adsorción. Las reacciones del tipo de transformación de los compuestos son aquellas en las que los productos primarios de la oxidación (hidroperóxidos) son convertidos a aldehídos y cetonas, es decir las tierras de blanqueo sirven como catalizadores para que se lleve a cabo esta transformación.

Otro tipo de fenómeno que se presenta en la etapa de blanqueo es la adsorción de una gran cantidad de compuestos que se encuentran como impurezas en el aceite y que son eliminados al quedar adsorbidos por las tierras y posteriormente son eliminados por simple filtración, entre este tipo de compuestos se encuentran los carotenos, clorofila, metales traza y tocoferoles entre otros. Todos estos compuestos que se eliminan en el blanqueo están influenciados por tres diferentes factores como son: la cantidad y tipo de tierras, temperatura y el tiempo de contacto.

Blanqueo del Aceite de Soya Neutralizado

Se realizaron un total de 40 corridas de blanqueo a nivel laboratorio, divididas en dos experimentos, 20 corridas fueron realizadas utilizando vacío (60-65 mm de Hg = ausencia de oxígeno) y otras 20 corridas sin vacío, es decir, en presencia de oxígeno, esto debido a que existen en nuestro país industrias que realizan el proceso de blanqueo sin tomar en cuenta este parámetro. Las corridas se realizaron de acuerdo al diseño mostrado en la **Tabla 8**. A cada una de las muestras de aceite de soya blanqueado se les determinó el valor de peróxidos, color y retención de tocoferoles (RTOCOLES), los resultados de estas corridas se muestran en la **Tablas 12 y 13**.

Tabla 12. Valor de Peróxidos y RTOCOLES durante el Blanqueo del Aceite de Soya.

Aceite ¹ Exp. No.	Valor de Peróxidos (mEq/kg de Aceite)		RTOCOLES (%)	
	0.292 ± 0.009		100	
	ausencia O ₂	presencia O ₂	ausencia O ₂	presencia O ₂
1	0.143 ± 0.016	0.654 ± 0.02	86.91 ± 1.06	82.10 ± 1.57
2	0.094 ± 0.012	0.303 ± 0.02	82.52 ± 0.04	70.52 ± 0.14
3	0.059 ± 0.012	0.282 ± 0.01	93.03 ± 0.02	81.97 ± 2.30
4	0.068 ± 0.000	0.302 ± 0.01	87.94 ± 0.41	77.69 ± 0.83
5	0.069 ± 0.000	0.848 ± 0.01	85.05 ± 1.64	78.06 ± 1.12
6	0.118 ± 0.002	0.351 ± 0.04	75.66 ± 0.90	78.38 ± 0.98
7	0.077 ± 0.012	0.187 ± 0.01	89.47 ± 0.44	81.45 ± 0.48
8	0.081 ± 0.017	0.288 ± 0.02	66.78 ± 0.62	82.10 ± 0.59
9	0.051 ± 0.001	0.214 ± 0.01	83.49 ± 1.16	79.80 ± 0.40
10	0.094 ± 0.012	0.249 ± 0.04	66.50 ± 0.22	74.68 ± 0.82
11	0.145 ± 0.010	0.306 ± 0.00	86.81 ± 0.62	77.46 ± 0.19
12	0.118 ± 0.003	0.239 ± 0.00	85.82 ± 3.03	78.82 ± 1.38
13	0.111 ± 0.012	0.214 ± 0.04	83.25 ± 0.49	81.56 ± 0.99
14	0.098 ± 0.007	0.206 ± 0.02	83.54 ± 0.82	76.43 ± 0.95
15	0.086 ± 0.000	0.339 ± 0.04	90.37 ± 0.09	79.97 ± 0.38
16	0.090 ± 0.005	0.223 ± 0.02	87.98 ± 1.36	79.77 ± 0.32
17	0.093 ± 0.011	0.211 ± 0.04	87.48 ± 0.69	80.34 ± 0.14
18	0.094 ± 0.012	0.276 ± 0.04	88.38 ± 0.16	79.58 ± 0.85
19	0.115 ± 0.018	0.234 ± 0.02	88.26 ± 0.38	78.41 ± 0.59
20	0.103 ± 0.000	0.188 ± 0.02	88.30 ± 0.02	79.61 ± 0.89

¹ Datos iniciales del aceite de soya neutralizado

Tabla 13. Valor de Color durante el Blanqueo del Aceite de Soya medido en el Lovibond y Espectrofotómetro.

Aceite ¹	Lovibond		Espectrofotométrico	
	70 A 8.3 R		14.4R	
Exp. No.	ausencia O ₂	presencia O ₂	ausencia O ₂	presencia O ₂
1	70 A 5.3 R	70 A 4.8 R	3.3	4.8
2	70 A 4.1 R	40 A 3.3 R	5.9	6.1
3	18 A 1.3 R	30 A 2.1 R	2.0	9.7
4	29 A 1.7 R	22 A 1.7 R	5.9	5.0
5	49 A 2.6 R	70 A 6.0 R	3.6	6.4
6	70 A 3.0 R	49 A 3.4 R	6.7	5.3
7	22 A 1.5 R	36 A 2.9 R	12.4	6.0
8	12 A 1.1 R	43 A 3.9 R	3.2	7.7
9	30 A 1.8 R	47 A 3.9 R	3.4	9.2
10	31 A 1.7 R	25 A 2.0 R	8.7	9.5
11	70 A 4.0 R	70 A 7.1 R	6.1	8.7
12	53 A 2.5 R	39 A 2.7 R	8.7	7.2
13	39 A 2.0 R	41 A 3.1 R	4.9	6.2
14	23 A 1.6 R	33 A 2.4R	7.5	7.6
15	27 A 1.7 R	55 A 3.0 R	5.7	11.6
16	32 A 1.9 R	37 A 2.8 R	5.2	10.2
17	22 A 1.4 R	52 A 2.8 R	4.4	11.8
18	30 A 1.8 R	42 A 3.4 R	4.3	10.0
19	32 A 1.6 R	34 A 2.5 R	5.0	10.3
20	24 A 1.5 R	30 A 2.1 R	4.4	11.6

¹ Datos iniciales del aceite de soya neutralizado, A = Amarillo, R = Rojo.

Valor de Peróxidos

En la realización del blanqueo del aceite de soya neutralizado en ausencia de oxígeno se encontró que el valor de peróxidos fue influenciado significativamente por la temperatura tanto en termino lineal como en el cuadrático y el tiempo de contacto ($p < 0.05$). El coeficiente de determinación (r^2) fue de 0.7269, indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 14**).

Los resultados obtenidos muestran (**Tabla 12**) que para obtener valores de peróxidos cercanos a cero se puede lograr a niveles de 0, 1 de tierras, los cuales equivalen a una cantidad de tierra de 1.0 y 1.5 % (p/p), durante el presente estudio se encontró que el valor mas bajo de peróxidos fue de 0.051 mEq/Kg el cual se logró durante el blanqueo realizado a una temperatura de 77 °C, una cantidad de tierras del 1% (p/p) y a un tiempo de 40 min (**Tabla 7**). Con respecto al tiempo de contacto, se observa que la reducción de peróxidos se logra con tiempos mayores al nivel -1, lo cual equivale a tiempos mayores de 20 minutos y temperatura mayor a los 80 °C, pero menores a 100 °C, lo que equivale a trabajar en los niveles de -1 y 0 de temperatura (**Figura 10**).

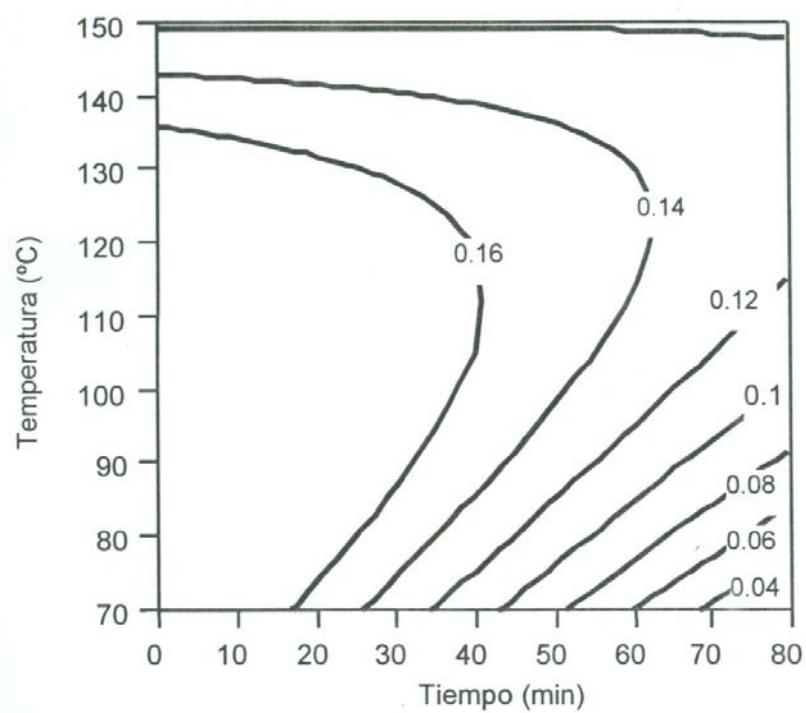
A diferencia del blanqueo de aceite de soya en ausencia de oxígeno, y cuando se realizó el blanqueo en presencia de oxígeno, se encontró que el valor de peróxidos fue influenciado significativamente por la cantidad de tierras y por la interacción entre temperatura y cantidad de tierras ($p < 0.05$) (**Tabla 15**) (**Figura 11**). El coeficiente de determinación (r^2) encontrado fue de 0.6293 indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 15**). En el presente estudio el valor mas bajo en el valor de peróxidos fue de 0.187 mEq/Kg de aceite, el cual se logro durante el blanqueo realizado a una temperatura de 90 °C, un contenido de tierras del 1.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 60 minutos (**Tabla 12**).

Tabla 14. Constantes y Coeficientes de Regresión del Modelo de Optimización de Aceite de Soya Blanqueado en Ausencia de Oxígeno.

Coeficientes ¹	Valor de Peróxidos	RTOCOLES	Color	
			Lovibond	Espectrofotométrico
β_0	-0.049573	-76.21391	14.28095	-23.094840
β_1	*0.005675	*2.61494	-0.07732	0.243811
β_2	-0.079732	14.84865	*-4.76210	3.979154
β_3	*-0.004308	1.10569	-0.11003	0.357172
β_1^2	*-0.000030	*-0.01098	0.00024	0.000387
β_{21}	0.000081	-0.08675	0.00500	-0.068750
β_2^2	0.009261	-0.22141	*0.62234	0.063673
β_{13}	0.000029	*-0.00707	0.00025	*-0.003938
β_{32}	0.000506	-0.10087	0.02125	0.041250
β_3^2	-0.00000062	-0.00307	0.00027	0.000519
r^2	0.7269	0.8839	0.84940	0.648100

¹ : 1 = Temperatura; 2 = cantidad de tierras; 3 = tiempo.

* : Significancia a $p < 0.05$



* Los valores en el interior de la gráfica representan el valor de peróxidos en mEq/Kg de aceite.

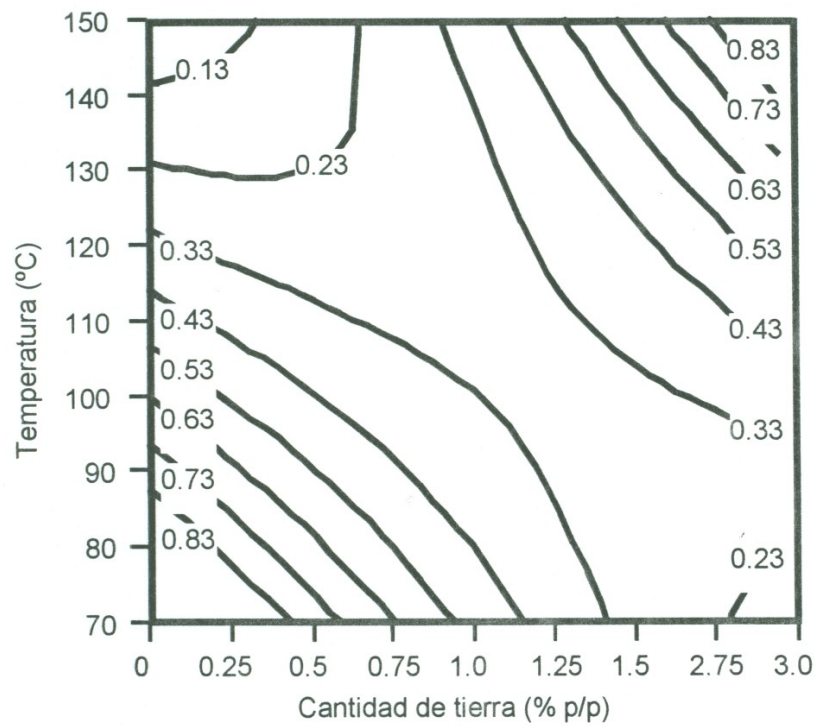
Figura 10. Efecto de la Temperatura y Tiempo sobre el Valor de Peróxidos en Ausencia de Oxígeno Manteniendo Constante la Cantidad de Tierras al 1.0 %.

Tabla 15. Constantes y Coeficientes de Regresión del Modelo de Optimización de Aceite de Soya Blanqueado en Presencia de Oxígeno.

Coeficientes ¹	Valor de Peróxidos	RTOCOLES	Color	
			Lovibond	espectrofotométrico
β_0	2.977488	99.901641	19.263069	-29.375410
β_1	-0.031497	*-0.040700	-0.115391	0.495454
β_2	*-0.843864	*-2.840803	*-7.662159	*8.300516
β_3	0.002743	*-0.579927	-0.015318	0.244035
β_1^2	0.000080	-0.001599	0.000128	-0.002325
β_{12}	*0.006056	0.047687	*0.029375	-0.020187
β_2^2	0.044217	-0.304627	*0.739819	*-1.349743
β_{13}	-0.000020	*0.005259	0.000093	0.001190
β_{23}	-0.002194	0.000437	0.010625	-0.011063
β_3^2	0.000053	-0.000038	-0.000061	-0.004305
r^2	0.629300	0.739700	0.874200	0.740500

¹: 1. Temperatura; 2, cantidad de tierras; 3, tiempo.

*: Significancia a $p < 0.05$



* Los valores en el interior de la gráfica representan el valor de peróxidos en mEq/Kg de aceite.

Figura 11. Efecto de la Cantidad de Tierras y Temperatura sobre el Valor de Peróxidos en Presencia de Oxígeno Manteniendo Constante el Tiempo en 50 minutos.

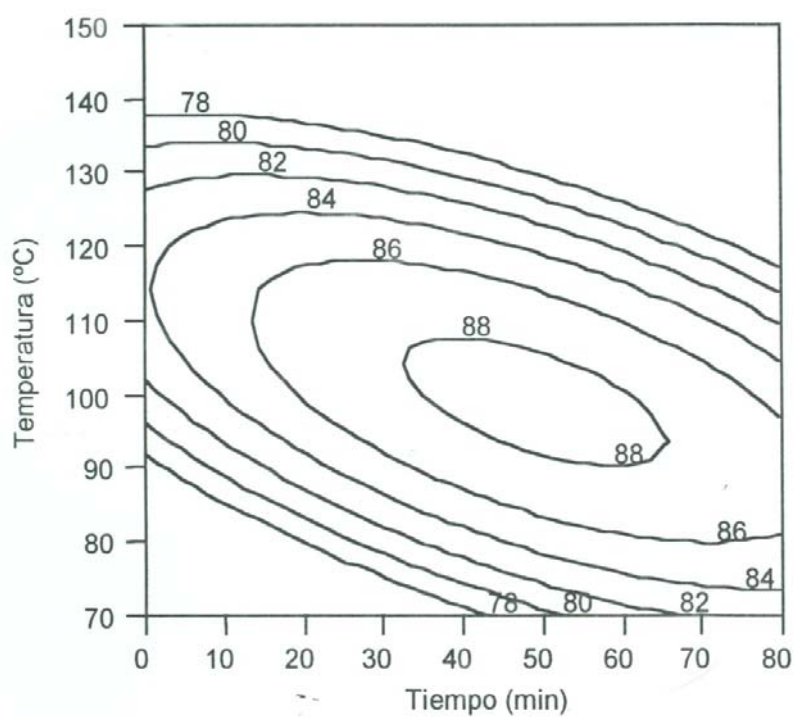
Por lo tanto, para obtener valores de peróxidos cercanos a cero se logra a niveles de 0 y 1 de cantidad de tierras, los cuales equivalen a una cantidad de tierras del 1.0 y 1.5 % (p/p). Con respecto al tiempo, se observa que para reducir el valor de peróxidos son necesarios tiempos mayores al nivel -1, lo cual equivale a tiempos mayores de 20 minutos (**Tabla 7**).

Estos resultados encontrados concuerdan con los reportados por Villa, (1996); Villa, (2001) y Mag (1990), sobre el efecto de las variables de temperatura, cantidad de tierras y tiempo de contacto en la reducción del valor de peróxidos. En el presente trabajo se encontró que la etapa de blanqueo en ausencia de oxígeno redujo con mayor eficiencia el VP y color en el aceite blanqueado. Esto se puede deber a que en ausencia de oxígeno la reacción de oxidación no se lleva a cabo y además no se presenta la fijación de color por oxidación de carotenoides.

Retención de Tocoferoles

La retención de tocoferoles (RTOCOLES) en ausencia de oxígeno fue influenciada significativamente por la temperatura tanto en su término lineal como cuadrático, por el tiempo de contacto y por la interacción entre tiempo y temperatura ($p < 0.05$). El coeficiente de determinación (r^2) encontrado fue de 0.8839 indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 14**).

La temperatura es la variable que presenta un cambio más drástico en la retención de tocoferoles en ausencia de oxígeno, siendo los niveles más altos en los que se presentó la menor retención de los tocoferoles. En relación a el tiempo de contacto fue en los niveles más altos en donde se presentó la menor retención de tocoferoles (<86%) (**Figura 12**). La mayor retención de tocoferoles encontrado en la realización del experimento correspondió al 93.0%, para lo cual se utilizó una temperatura de 90 °C, una cantidad de tierras del 1.5% (p/p) y un



* Los valores en el interior de la gráfica representan el porcentaje de RTOCOLES.

Figura 12. Efecto de la Temperatura y Tiempo, sobre la Retención de Tocoferoles en Ausencia de Oxígeno Manteniendo Constante la Cantidad de Tierras al 0.75 %.

tiempo de contacto de 20 minutos. En el caso de la cantidad de tierras fue la variable que no tuvo un efecto significativo en la disminución del valor de peróxidos, así como en la retención de los tocoferoles (**Tabla 14**).

La retención de tocoferoles en presencia de oxígeno fue influenciado significativamente por la temperatura, tiempo de contacto y cantidad de tierras, así como por la interacción entre la temperatura y el tiempo ($p < 0.05$). El coeficiente de determinación (r^2) encontrado fue de 0.7397 indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 15**).

La cantidad de tierras confirma que es la variable que presenta un efecto más significativo en la retención de tocoferoles en presencia de oxígeno, siendo en los niveles más altos de cantidad de tierra en los que se presentó la mayor retención de tocoferoles (**Figura 13a**), mientras que para el tiempo y la temperatura fue en los niveles más bajos que se presentó la mayor retención de tocoferoles (>80%) (**Figura 13b**). El valor más alto de retención de tocoferoles encontrado en el presente estudio fue de 82.10%, el cual correspondió a dos diferentes corridas experimentales para lo cual se utilizó una temperatura de 90 y 130 °C, una cantidad de tierras del 0.5 y 1.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 20 y 60 minutos respectivamente.

La pérdida de tocoferoles cuando la etapa de blanqueo se realiza en ausencia de oxígeno es menor al 13%, sin embargo, cuando el blanqueo se realiza en presencia de oxígeno la pérdida de tocoferoles es mayor al 13%, estos resultados coinciden con los reportados por Jung y Col, (1989), Ferrari y Col, (1996) y Bockish, (1998). Esto indica que la presencia de oxígeno tiene un efecto negativo en la cantidad de los tocoferoles que se retienen en el aceite. Esto pudiera deberse a que los tocoferoles son consumidos al actuar como antioxidante bloqueando la reacción de oxidación del aceite lo cual ocasiona la oxidación del grupo cromanol por efecto de diferentes agentes oxidantes (ácido

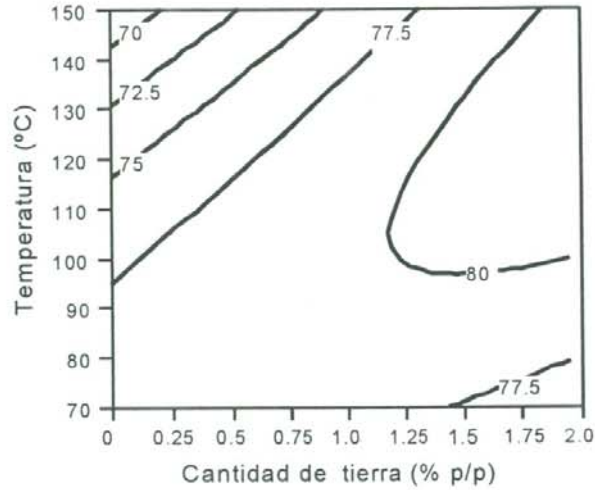
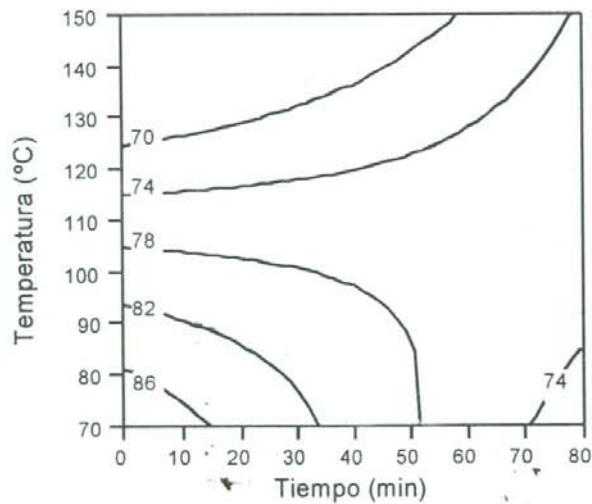


Figura 13a. Efecto de la Temperatura y Cantidad de Tierras sobre la Retención de Tocoferoles en Presencia de Oxígeno Manteniendo Constante el Tiempo en 50 minutos.



* Los valores en el interior de las gráficas representan el porcentaje de RTOCOLES.

Figura 13b. Efecto de la Temperatura y Tiempo sobre la Retención de Tocoferoles en Presencia de Oxígeno Manteniendo Constante la Cantidad de Tierras al 0.75 %.

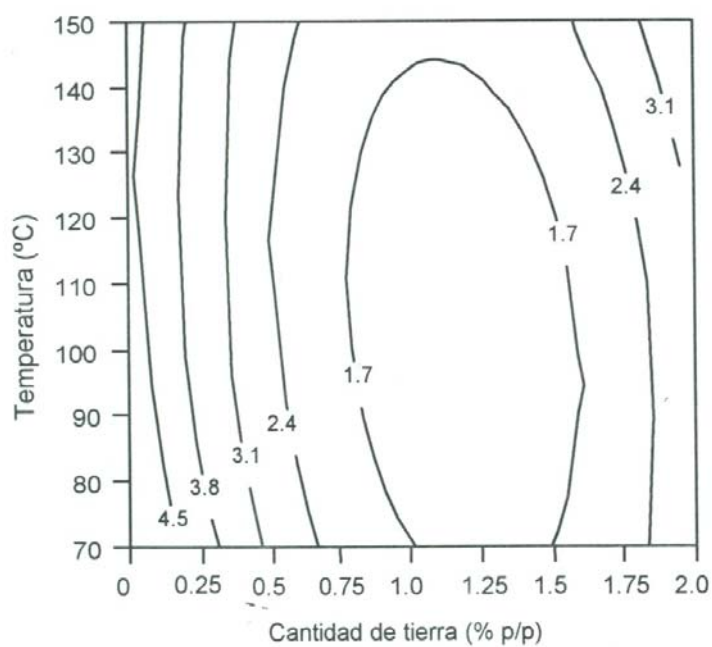
cromico, ácido nítrico, cloruro férrico) dando como resultado diferentes compuestos (quinonas, lactonas y otros productos de degradación) que no pueden ser detectados por el método utilizado para la cuantificación de tocoferoles, debido a que estos compuestos presentan absorción a una longitud de onda diferente a la cual se está realizando el análisis (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996).

Color Lovibond

El valor de color determinado a través de Lovibond en ausencia de oxígeno y con presencia de oxígeno, fue influenciado significativamente por el contenido de tierras, tanto en el término lineal como en el cuadrático. En presencia de oxígeno el color también fue influenciado significativamente por la interacción entre la temperatura y la cantidad de tierras. La temperatura y el tiempo no presentaron efecto significativo a los niveles que se utilizaron en el presente modelo ($p < 0.05$) (**Figuras 14 y 15**). El coeficiente de determinación (r^2) encontrado para el color Lovibond en presencia y ausencia de oxígeno fue de 0.8494 y 0.8742 respectivamente, indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tablas 14 y 15**).

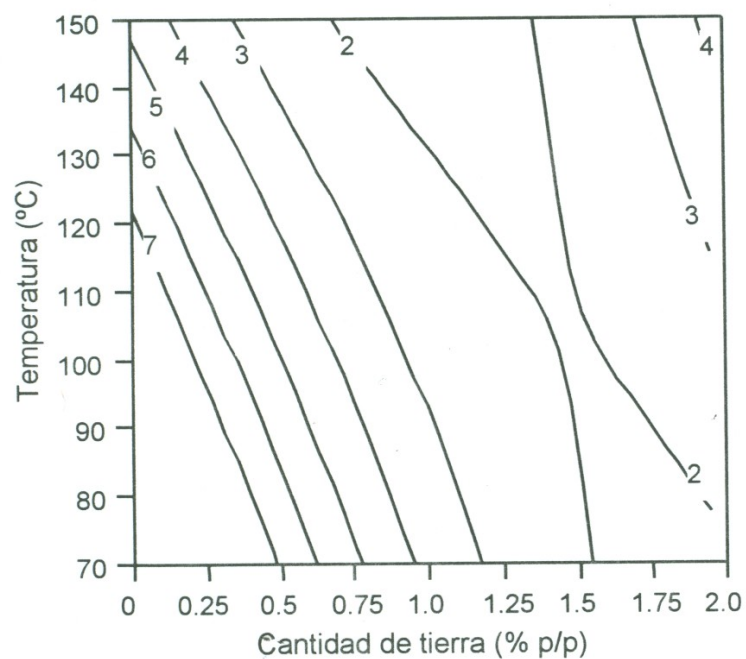
Cuando el aceite fue blanqueado en presencia de oxígeno los valores de color rojo fueron más altos que cuando se realizó el blanqueo en ausencia de oxígeno. Esto se debe a la fijación del color como resultado de la presencia de compuestos producto de la oxidación de carotenoides. La oxidación de carotenoides se lleva a cabo por efecto de la temperatura y el oxígeno presente en el blanqueo (Bockish, 1998).

Al valor mínimo de color Lovibond en ausencia de oxígeno obtenido en el presente estudio fue de 1.1 rojo, el cual correspondió a una temperatura de 130 °C, una cantidad de tierras del 1.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 60 minutos, mientras que el mínimo valor de color rojo en presencia de oxígeno fue de 1.7,



* Los valores en el interior de la gráfica representan el color rojo Lovibond.

Figura 14. Efecto de la Cantidad de Tierras en la Reducción del Color Lovibond en Ausencia de Oxígeno Manteniendo Constante el Tiempo en 60 minutos.



* Los valores en el interior de la gráfica representan el color rojo Lovibond.

Figura 15. Efecto de la Cantidad de Tierras y Temperatura sobre la Reducción de Color Lovibond en Presencia de Oxígeno Manteniendo Constante el Tiempo en 20 minutos.

para lo cual se utilizó una temperatura de 130 °C, una cantidad de tierras del 1.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 20 minutos. La cantidad de tierras presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el color rojo (Lovibond) en ambos casos (en ausencia y presencia de oxígeno). Este efecto se presentó cuando se utilizaban cantidades mayores al 1.0% (p/p), lo cual dio como consecuencia una reducción en el color rojo presente en el aceite.

Color Espectrofotométrico

Para los aceites blanqueados en ausencia de oxígeno se encontró que el color rojo determinado en el espectrofotómetro no fue influenciado significativamente por ninguno de los términos en forma lineal y cuadrático, sin embargo, quien tuvo efecto significativo fue la interacción entre temperatura y tiempo ($p < 0.05$). El coeficiente de determinación (r^2) encontrado para el color espectrofotométrico en ausencia de oxígeno fue de 0.6481 indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 14**).

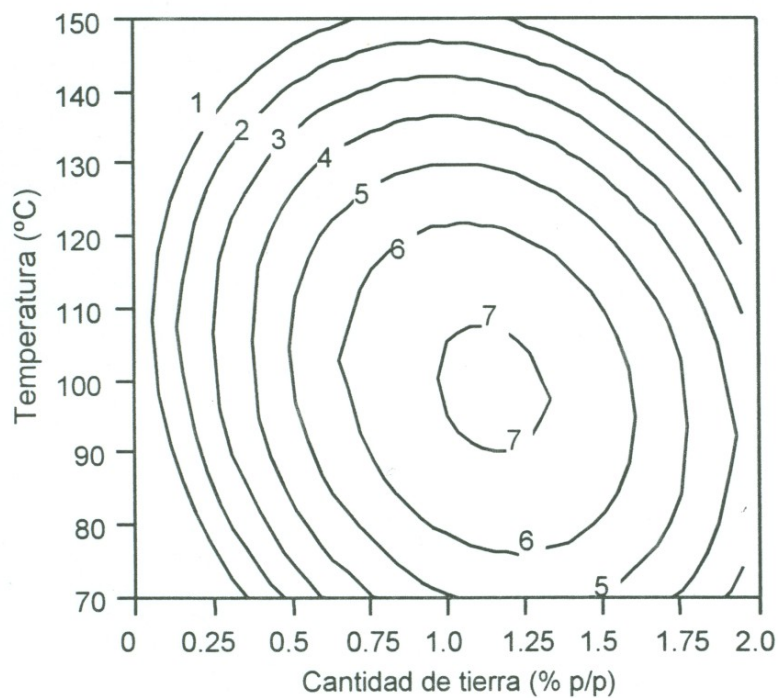
El menor valor de color rojo espectrofotométrico en ausencia de oxígeno fue de 2.0, el cual correspondió a la corrida en donde se utilizó una temperatura de 90 °C, una cantidad de tierras del 1.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 20 minutos. Se presentó un comportamiento de reducción de color similar al observado para el color rojo encontrado en el Lovibond con relación al aceite neutralizado. Para el color (espectrofotométrico) rojo en los aceites blanqueados en presencia de oxígeno se encontró que este fue influenciado significativamente por la cantidad de tierras tanto en el término lineal como en el cuadrático, presentando un coeficiente de determinación (r^2) de 0.7405 indicando que el modelo predice de forma adecuada el efecto de cada factor sobre la variable respuesta (**Tabla 15**).

El valor menor de color rojo espectrofotométrico obtenido en presencia de oxígeno fue de 4.8, el cual correspondió a la corrida en donde se utilizó una temperatura de 90 °C, una cantidad de tierras del 0.5% (p/p) y un tiempo de contacto de 20 minutos. Este comportamiento fue similar al observado para el color rojo encontrado en el Lovibond. El efecto significativo de la cantidad de tierras ($p < 0.05$) se presentó a los niveles más bajos y más altos (-1 y 1), es decir cuando se utilizaron cantidades menores al 0.5 y mayores al 1.5% (p/p) (**Figura 16**), lo cual dio como consecuencia una reducción en el color rojo presente en el aceite.

Optimización

Para llevar a cabo la optimización de la operación de blanqueo para cada uno de los diferentes experimentos (en ausencia y presencia de oxígeno) se realizó un análisis de los datos por regresión para valor de peróxidos (Ec. 1), RTOCOLS (Ec. 2), color Lovibond (Ec. 3) y color espectrofotométrico (Ec. 4), siendo estas ecuaciones las designadas por el diseño con la ausencia de oxígeno (**Figura 17**), mientras que por el diseño con presencia de oxígeno fueron las siguientes: Valor de peróxidos (Ec. 5), RTOCOLS (Ec. 6), color Lovibond (Ec. 7) y color espectrofotométrico (Ec. 8) (**Figura 18**), por lo tanto se obtuvieron ocho diferentes ecuaciones en total. Después se procedió a minimizar y maximizar la función, para determinar el valor óptimo al igual que las condiciones que generaron dicho valor. Esto fue posible después de realizar algunas restricciones al modelo, siendo esta que la zona de predicción del modelo se limitara a los niveles -1 y 0 de las variables independientes.

En la actualidad la industria aceitera es más cuidadosa en el control de cada una de las etapas del proceso de refinación de los aceites. Durante la etapa de blanqueo se recomienda cero de peróxidos, por lo cual se decidió minimizar el índice de peróxidos a un valor muy cercano a cero con la ecuación de regresión para esta variable respuesta (Ec. 1) en ausencia de oxígeno y con la



* Los valores en el interior de la gráfica representan el color rojo Espectrofotométrico.

Figura 16. Efecto de la Cantidad de Tierras sobre la Reducción del Color Espectrofotométrico en Presencia de Oxígeno Manteniendo Constante el Tiempo en 10 minutos.

Ec. 1

$$Y_1 = -0.049573 + 0.0056755X_1 - 0.079732X_2 - 0.004308X_3 + \\ 0.0000813X_1X_2 + 0.0000291X_1X_3 + 0.0005062X_2X_3 - 0.00003X_1^2 + \\ 0.009261X_2^2 - 6.208e-7X_3^2$$

Ec. 2

$$Y_2 = -76.21691 + 2.6149432X_1 + 14.848653X_2 + 1.1056953X_3 - \\ 0.08675X_1X_2 - 0.007075X_1X_3 - 0.100875X_2X_3 - 0.010989X_1^2 - \\ 0.221419X_2^2 - 0.003079X_3^2$$

Ec. 3

$$Y_3 = 14.280953 - 0.07732X_1 - 4.7621X_2 - 0.110036X_3 + 0.005X_1X_2 + \\ 0.00025X_1X_3 + 0.02125X_2X_3 + 0.0002442X_1^2 + 0.6223411X_2^2 + \\ 0.0002775X_3^2$$

Ec. 4

$$Y_4 = -23.09484 + 0.2438113X_1 + 3.979154X_2 + 0.3571723X_3 - 0.06875X_1X_2 \\ - 0.003938X_1X_3 + 0.04125X_2X_3 + 0.0003873X_1^2 + 0.6367326X_2^2 + \\ 0.0005191X_3^2$$

Donde:

Y₁ = Valor de peróxidos
 Y₂ = Retención de tocoferoles
 Y₃ = Color (Lovibond)
 Y₄ = Color (espectrofotométrico)

X₁ = Temperatura
 X₂ = Cantidad de tierras
 X₃ = Tiempo de contacto

Figura 17. Ecuaciones Obtenidas por el Diseño para el Valor de Peróxidos, Retención de Tocoferoles, Color Lovibond y Color Espectrofotométrico en Ausencia de Oxígeno.

Ec. 5

$$Y_1 = 2.9774881 - 0.031497X_1 - 0.843864X_2 + 0.0027435X_3 + 0.0060562X_1X_2 - 0.00002X_1X_3 - 0.002194X_2X_3 + 0.0000805X_1^2 + 0.0442172X_2^2 + 0.0000537X_3^2$$

Ec. 6

$$Y_2 = 99.901641 - 0.0407X_1 - 2.840803X_2 - 0.579927X_3 + 0.0476875X_1X_2 + 0.0052594X_1X_3 + 0.0004375X_2X_3 - 0.001599X_1^2 - 0.304627X_2^2 - 0.000038X_3^2$$

Ec. 7

$$Y_3 = 19.263069 - 0.115391X_1 - 7.662159X_2 - 0.015318X_3 + 0.029375X_1X_2 + 0.0000938X_1X_3 + 0.010625X_2X_3 + 0.0001283X_1^2 + 0.7398193X_2^2 - 0.000061X_3^2$$

Ec. 8

$$Y_4 = -29.37541 + 0.4954547X_1 + 8.300516X_2 + 0.2440351X_3 - 0.020187X_1X_2 + 0.0011906X_1X_3 - 0.011063X_2X_3 - 0.002325X_1^2 - 1.349743X_2^2 - 0.004305X_3^2$$

Donde:

Y_1 = Valor de peróxidos
 Y_2 = Retención de tocoferoles
 Y_3 = Color (Lovibond)
 Y_4 = Color (espectrofotométrico)

X_1 = Temperatura
 X_2 = Cantidad de tierras
 X_3 = Tiempo de contacto

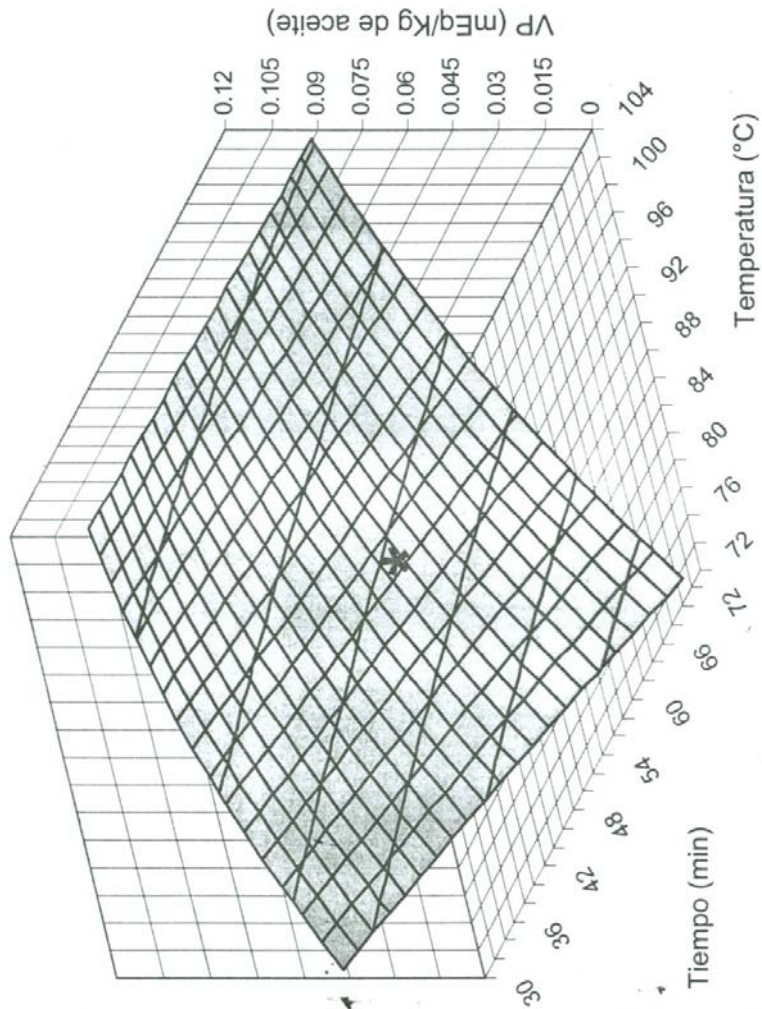
Figura 18. Ecuaciones Obtenidas por el Diseño para el Valor de Peróxidos, Retención de Tocoferoles, Color Lovibond y Color Espectrofotométrico en Presencia de Oxígeno

Ec. 5 para el diseño en presencia de oxígeno además de obtener la mayor cantidad de RTOCOLES en base a la ecuación 2 y 6 de cada diseño respectivamente.

En Ausencia de Oxígeno

Con las ecuaciones obtenidas para el valor de peróxidos se encontró el valor óptimo de 0.061 mEq/kg. de peróxido, con las condiciones de temperatura $X_1 = 86$ °C, cantidad de tierras $X_2 = 1.2$ % y un tiempo de 55 minutos. El punto para el mínimo valor de peróxidos en el aceite se indica gráficamente en la **Figura 19**. En esta Figura de superficie respuesta, se localiza el punto mínimo de valor de peróxidos dentro de la región experimental. Tomando como base los niveles anteriores de las variables independientes, las cuales dieron como resultados la respuesta óptima para el mínimo valor de peróxidos, se calculó el contenido de RTOCOLES (Ec. 2), color (Lovibond) (Ec. 3) y el color espectrofotométrico (Ec. 4), con las ecuaciones de regresión. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 16**, en la cual se observa que los niveles de cada una de las variables independientes se encuentran dentro de los recomendados por Bockish, (1998). Los valores de las variables dependientes, se encuentran dentro de los valores permitidos para valor de peróxidos <1.0 mEq/kg. (Mag, 1990; Villa, 2001), RTOCOLES > 88% (Jung y Col, 1989; Ferrari y Col, 1996, Medina y Col, 2000), color lovibond y color espectrofotométrico, observándose una reducción mayor del 40% y del 13% respectivamente, lo cual concuerda con los valores reportados por Bockish (1998).

Al comparar los valores de peróxido del aceite blanqueado de soya a las condiciones óptimas y los aceites producidos en México, se encontró que el valor de peróxidos en los aceites refinados a condiciones óptimas tuvo un menor valor de peróxidos en la etapa de blanqueo al encontrado en diferentes plantas aceiteras de México (Medina, 2000). Esto pudiera deberse a que los aceites no



* Condiciones optimas: temperatura: 86°C, tiempo de contacto: 55 minutos y cantidad de tierras: 1.2%.

Figura 19. Gráfica de Superficie Respuesta para el Efecto de la Temperatura y Tiempo para el Mínimo de Peróxidos en el Aceite Blanqueado en Ausencia de Oxígeno.

Tabla 16. Validación de las Condiciones Óptimas Predichas por el Modelo de la Etapa de Blanqueo en Ausencia de Oxígeno

Niveles de variables			V. peróxidos (mEq/kg.)	RTOCOLES (%)	Color	
X ₁	X ₂	X ₃			Lovibond	espectrof.
86	1.2	55				
Predecidas min. peróxidos			0.061	88.56	1.40	7.79
Validadas en el laboratorio			0.077 ± 0.01	89.72 ± 1.45	1.90 ± 0.0	7.92 ± 0.56
96	1.4	23				
Predecidas max. tocoferoles			0.087	91.74	1.53	3.98
Validadas en el laboratorio			0.094 ± 0.04	91.79 ± 1.33	1.85 ± 0.3	3.88 ± 0.11

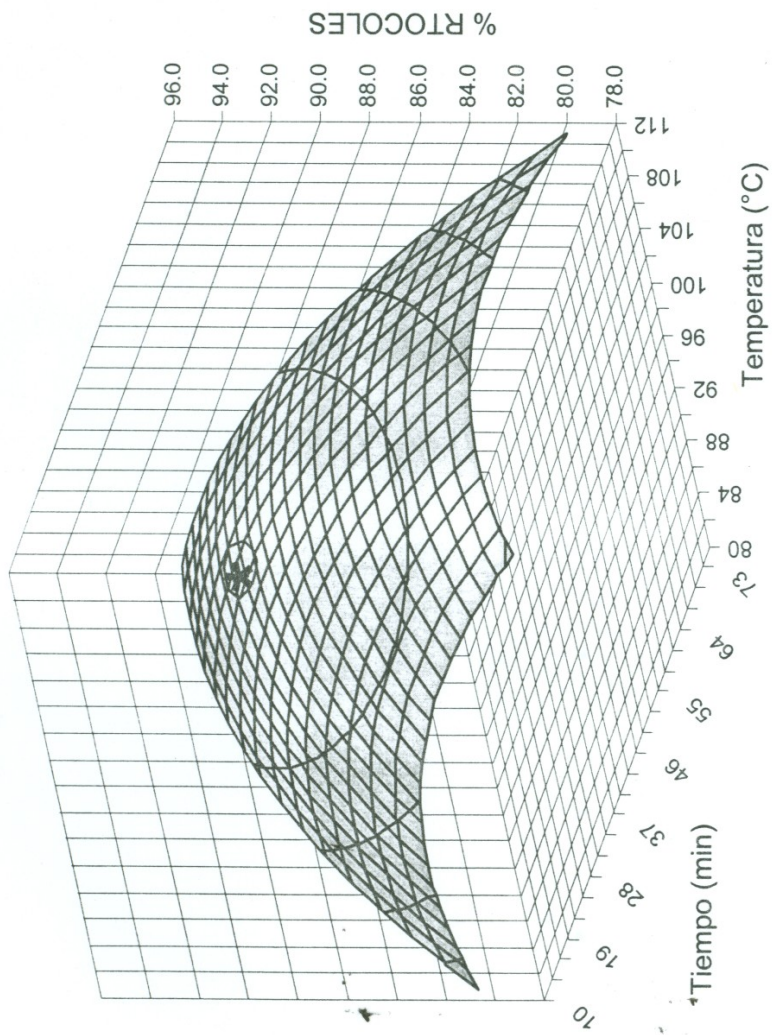
X₁ = Temperatura, X₂ = % de tierras, X₃ = Tiempo de contacto

son procesados a las condiciones óptimas de temperatura, cantidad de tierras y tiempo de contacto, lo cual tiene como finalidad eliminar este tipo de compuestos.

La etapa de blanqueo de los aceites, como se ha mencionado anteriormente tiene como finalidad disminuir los peróxidos, pero también son eliminados otro tipo de compuestos como son los tocoferoles, es por ello que la temperatura, cantidad de tierras y tiempo de contacto, se tienen que manejar de manera óptima durante esta etapa para poder obtener un aceite que al mismo tiempo contenga la mayor cantidad de tocoferoles. Es por ello que se deben buscar las condiciones donde se tengan pérdidas de tocoferoles menores del 13.5%, tal como lo reporta Ferrari y Col, 1996, Jung y Col, 1989. Para realizar esta maximización de tocoferoles se utilizó la ecuación de regresión Ec. 2.

Con esta ecuación se obtuvo el valor máximo de tocoferoles retenidos en el aceite de soya blanqueado $RTOCOLES = 91.74\%$ (p/p), con las condiciones de temperatura $X_1 = 96\text{ }^\circ\text{C}$, cantidad de tierras $X_2 = 1.4\%$ (p/p), tiempo de contacto $X_3 = 23\text{ min}$. El punto máximo para la $RTOCOLES$ en el aceite blanqueado se indica gráficamente en la **Figura 20**. En esta figura de superficie respuesta el punto para la mayor $RTOCOLES$ se encontró dentro de la región experimental.

Tomando como base los niveles anteriores de las variables independientes las cuales dieron como resultado la respuesta óptima maximizada para $RTOCOLES$, se calculó el valor de peróxidos (Ec. 1), color lovibond (Ec. 3), color espectrofotométrico (Ec. 4), con las ecuaciones de regresión. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 16**, donde se puede observar que los niveles de las variables independientes se encuentran dentro de los recomendados por Bockish (1998), Villa (2001) y Serra y Col, (2001).



* Condiciones optimas: temperatura: 96°C, tiempo de contacto: 25 minutos y cantidad de tierras: 1,4%.

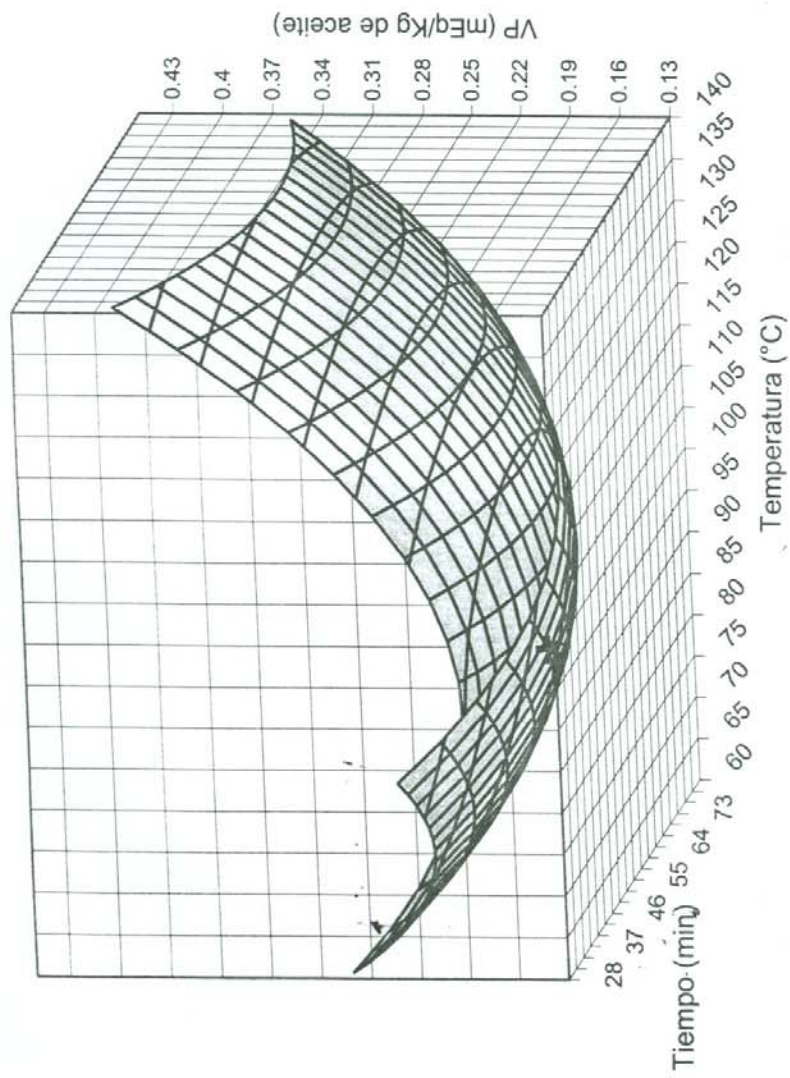
Figura 20. Gráfica de Superficie Respuesta para el Efecto de la Temperatura y Tiempo de Contacto en la RTOCLES en el Aceite Blanqueado en Ausencia de Oxígeno.

Las condiciones óptimas predecidas por los modelos para minimizar el valor de peróxidos y maximizar la cantidad de tocoferoles retenidos en el aceite de soya blanqueado en ausencia de oxígeno se validaron de manera experimental en el laboratorio, encontrando que las respuestas predecidas por los modelos y los resultados obtenidos experimentalmente (**Tabla 16**) concuerdan con los valores recomendados por Mag (1990) y Villa (2001) para un valor de peróxidos < 1.0 mEq/Kg de aceite y por Jung y Col, (1989), Ferrari y Col, (1996) y Medina y Col, (2001) para RTOCOLES $> 88\%$. En el caso de color Lovibond y espectrofotométrico cumplen con lo recomendado por Bockish (1998).

En Presencia de Oxígeno

Con las ecuaciones obtenidas para predecir el valor de peróxidos se obtuvo el valor óptimo de 0.193 mEq/kg. de peróxido, con las condiciones de temperatura $X_1 = 100$ °C, cantidad de tierras $X_2 = 1.45$ % y un tiempo de 30 minutos. El punto para el mínimo valor de peróxidos en el aceite blanqueado se indica gráficamente en la **Figura 21**. En esta figura de superficie respuesta el punto mínimo de valor de peróxidos se localizó dentro de la región experimental analizada. Tomando como base los niveles anteriores de las variables independientes se calculó con las ecuaciones de regresión, el contenido de RTOCOLES (Ec. 6), color Lovibond (Ec. 7) y el color espectrofotométrico (Ec. 8).

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 17**, en la cual se puede observar que los niveles de cada una de las variables independientes se encuentran dentro de lo recomendado por Bockish (1998), al igual que para la variable dependiente valor de peróxidos (< 1.0 mEq/kg) (Mag, 1990; Villa, 2001). Por el contrario el valor de RTOCOLES $< 88\%$, no concuerda con los valores reportados por Jung y Col, (1989); Ferrari y Col, (1996), Medina y Col, (2000), esto se podría deber a que el aceite fue tratado a condiciones atmosféricas, provocando la oxidación de los ácidos grasos por efecto de la temperatura y actuando los tocoferoles como antioxidantes disminuyendo su contenido inicial.



* Condiciones optimas: temperatura: 100°C, tiempo de contacto: 30 minutos y cantidad de tierras: 1.45%.

Figura 21. Gráfica de Superficie Respuesta para el Efecto de la Temperatura y Tiempo para el Mínimo de Peróxidos en el Aceite Blanqueado en Presencia de Oxígeno.

Tabla 17. Validación de las Condiciones Óptimas Predichas por el Modelo de la Etapa de Blanqueo en Presencia de Oxígeno.

Niveles de variables			V. peróxidos (mEq/kg.)	RTOCOLES (%)	Color	
X ₁	X ₂	X ₃			Lovibond	espectrof.
100	1.45	30				
Predecidas min. peróxidos			0.193	81.25	2.21	9.84
Validadas en el laboratorio			0.187 ± 0.05	81.41 ± 0.70	2.20 ± 0.00	9.60 ± 0.22
80.05	1.5	10				
Predecidas max. tocoferoles			0.243	85.00	1.80	5.92
Validadas en el laboratorio			0.221 ± 0.05	85.61 ± 0.47	1.65 ± 0.21	5.87 ± 0.13

X₁ = Temperatura, X₂ = % de tierras, X₃ = Tiempo de contacto

El color Lovibond y color espectrofotométrico, se redujo un 40% y 19% respectivamente, lo cual concuerda con los valores reportados por Bockish (1998).

Al comparar las condiciones óptimas predecidas por el modelo (**Tabla 17**) con diferentes aceites producidos en México, se encontró que dichas condiciones daban como resultado un menor valor de peróxidos en la etapa de blanqueo al encontrado en diferentes plantas aceiteras de México (Medina, 2000). Esto pudiera deberse a que los aceites no son procesados a las condiciones óptimas de temperatura, cantidad de tierras y tiempo. De la misma manera al establecer una comparación de la retención de tocoferoles en los aceites procesados en diferentes plantas aceiteras de México se encontró que la retención es del 70% (Medina, 2000), en el presente estudio se encontró una retención > 80%. Esta reducción en la retención de los tocoferoles en los aceites procesados en México a nivel industrial, se puede deber a la temperatura y al contacto del oxígeno con el aceite, lo que promueve la oxidación del aceite y la reducción de los tocoferoles.

Las tierras durante la etapa de blanqueo presentan en los aceites una combinación de dos efectos estos son: el efecto catalítico (peróxidos a aldehídos y cetonas) y el efecto de adsorción de compuestos (tocoferoles), por tal motivo se debe tener cuidado de manejar la temperatura, cantidad de tierras y tiempo de contacto, de manera correcta para poder obtener un aceite con la mayor retención de tocoferoles. Es por ello que la pérdida de tocoferoles en el aceite debe ser menor del 13.5%, tal como lo reporta Ferrari y Col, 1996, Jung y Col, 1989. Para realizar esta maximización de tocoferoles, se utilizó la ecuación de regresión Ec. 2.

Con esta ecuación se obtuvo el valor máximo de tocoferoles retenidos en el aceite de soya blanqueado $RTOCOLES = 85.00 \%$, con las condiciones de temperatura $X_1 = 80.05 \text{ }^\circ\text{C}$, cantidad de tierras $X_2 = 1.5$, tiempo de contacto $X_3 =$

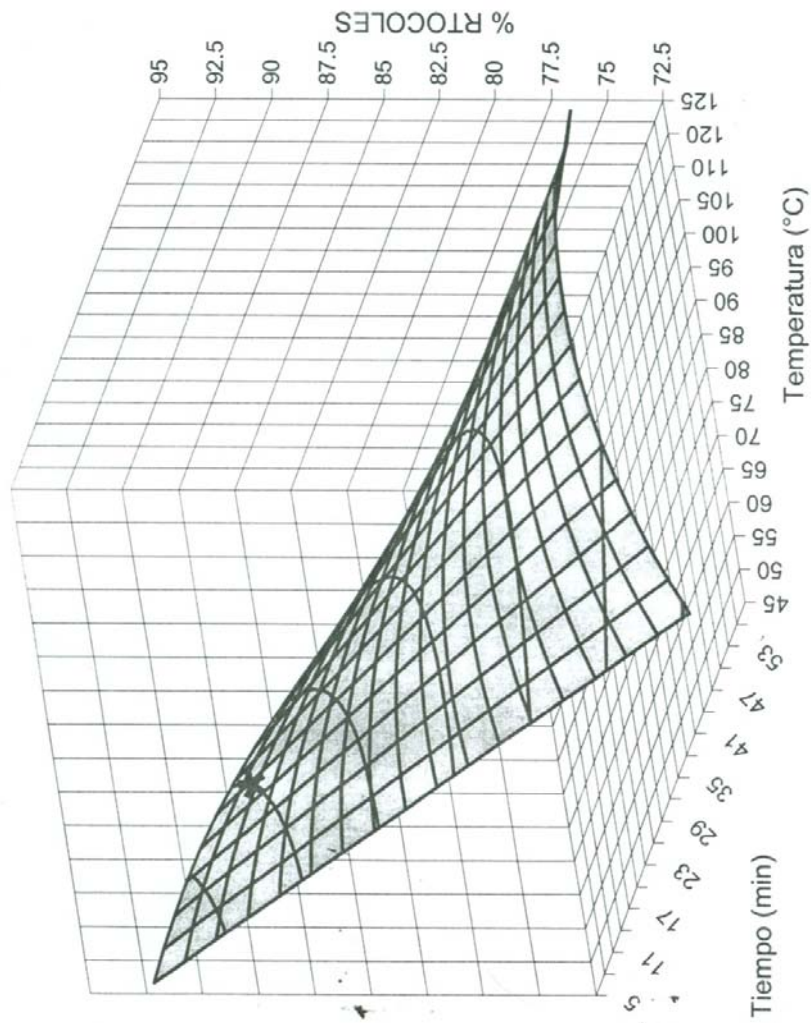
10 min. El punto máximo para la RTOCOLES en el aceite blanqueado se puede observar en la **Figura 22**. En esta figura de superficie respuesta el punto para la mayor RTOCOLES se localizo dentro de la región experimental.

Tomando como base los niveles de las variables independientes anteriores, las cuales dieron como resultado la respuesta máxima para RTOCOLES, se calculó el valor de peróxidos (Ec. 5), color Lovibond (Ec. 7), color espectrofotométrico (Ec. 8), con las ecuaciones de regresión. Los resultados se muestran en la **Tabla 17**, en donde se puede observar que los niveles de las variables independientes se encuentran dentro de los recomendado por Bockish (1998), Villa (2001) y Serra, et. al. (2001).

Las condiciones óptimas predecidas por los modelos para minimizar el valor de peróxidos y maximizar la cantidad de tocoferoles retenidos en el aceite de soya blanqueado en presencia de oxígeno se validaron de manera experimental en el laboratorio, encontrando que las respuestas predecidas por lo modelos y los resultados obtenidos experimentalmente (**Tabla 17**) concuerdan con los valores recomendados por Mag (1990) y Villa (2001) para un valor de peróxidos <1.0 mEq/Kg. de aceite, mientras que para RTOCOLES estos resultados no concuerdan con los reportados por Jung y Col, (1989), Ferrari y Col, (1996) y Medina y Col, (2001) encontrándose valores por debajo del 88%. En el caso de color en ambos casos (Lovibond y espectrofotométrico) cumplen con lo recomendado por Bockish (1998).

Evaluación de la Calidad del Aceite de Soya Blanqueado

Con la finalidad de evaluar la calidad de las muestras de aceite de soya blanqueadas a las condiciones óptimas (mínimo valor de peróxidos y máxima retención de tocoferoles) en ausencia y presencia de oxígeno se les determinó ácidos grasos libres, contenido de jabón, valor de *p*-anisidina, dienos conjugados, clorofila A y B, perfil de ácidos grasos y contenido de elementos traza (**Tabla 18**).



* Condiciones optimas: temperatura: 80.05°C, tiempo de contacto: 10 minutos y cantidad de tierras: 1.5%.

Figura 22. Gráfica de Superficie Respuesta para el Efecto de la Temperatura y Tiempo de Contacto en la RTOCOLES en el Aceite Blanqueado en Presencia de Oxígeno.

Tabla 18. Evaluación de la Calidad de los Aceites Blanqueados a las Condiciones Óptimas.

Determinación	Neutralizado	Mínimo VP				Máxima RTOCOLES		Blanqueado ²
		ausencia de O ₂	presencia de O ₂	ausencia de O ₂	presencia de O ₂	ausencia de O ₂	presencia de O ₂	
Ácidos grasos libres (% de ac. oleico)	0.456 ± 0.001	0.022 ± 0.007	0.035 ± 0.004	0.022 ± 0.007	0.031 ± 0.001		<0.08	
Jabón (ppm oleato de sodio)	37.67 ± 1.03	0	0	0	0	0	0	
Valor de p-anisidina (mmol/kg)	0.88 ± 0.066	4.27 ± 0.100	4.86 ± 0.250	4.50 ± 0.050	3.43 ± 0.020		<2-4	
Dienos conjugados (mmol/kg)	0.167 ± 0.0015	0.002 ± 0.001	0.056 ± 0.016	0.053 ± 0.001	0.039 ± 0.004		--	
Clorofila A (ppm)	1.14 ± 0.1	0	0	0	0	0		
Clorofila B (ppm)	0	0.59 ± 0.05	0.20 ± 0.05	0.44 ± 0.02	0.88 ± 0.05		<1.0	
Elementos traza ¹ (ppm)								
Fósforo (P)	<1.0 ± 0	1.35 ± 0.12	2.0 ± 0.07	1.72 ± 0.13	2.3 ± 0.40		<2.0	
Hierro (Fe)	<0.15 ± 0	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06		<0.10	
Cobre (Cu)	<0.155 ± 0.0025	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	
Calcio (Ca)	<0.15 ± 0	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06		<0.10	
Magnesio (mg)	<0.25 ± 0	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10		<0.10	

-- : No se realiza.

² : Datos reportados por Erickson , 1995.

¹ : Limite de detección 0.05 ppm.

Con la realización de estos análisis se puede comprobar que los aceites blanqueados en ausencia de oxígeno a las condiciones óptimas, además, de contener valores de peróxidos < 1.0 mEq/kg de aceite y una alta retención de tocoferoles (valores recomendados por Villa, 2001; Ferrari, 1996 y Bockish, 1998), se encontró que presentaron valores cercanos a cero en el contenido de ácidos grasos libres, lo cual se encontraba dentro de los recomendado por Erickson, 1995, para un aceite de soya blanqueado (0.08 %). El valor de *p*-anisidina encontrado en las muestras de aceite de soya blanqueadas en ausencia y presencia de oxígeno se incrementó en relación al aceite neutralizado, esto debido a la acción catalítica de las tierras de blanqueo sobre los peróxidos, para ser transformados en aldehídos y cetonas, los cuales se cuantifican por esta técnica. Los valores se encontraban dentro del valor reportado por Erickson, 1995; Villa, 2001 y Bockish, 1998, para un aceite de soya blanqueado.

La determinación del contenido de jabón es de gran importancia en el blanqueo de los aceites, debido a que estos deben quedar atrapados en las tierras de blanqueo y al final del mismo se eliminan al llevar a cabo la filtración, tal y como ocurrió en el presente estudio en donde se obtuvo un aceite de soya blanqueado con un valor de cero de jabón, tanto al realizarse en ausencia y presencia de oxígeno, siendo este valor el recomendado para un aceite blanqueado (Villa, 2001 y Erickson, 1995).

En la cuantificación de clorofila A y B, se presentó el comportamiento característico de transformación de clorofila A en B por efecto de la temperatura, es decir el aceite neutralizado presentó únicamente clorofila A y después del blanqueo esta se eliminó por completo para aparecer la clorofila B en cantidades recomendadas para un aceite blanqueado, tal como lo reporta Erickson, 1995 y Villa, 2001 (< 1.0 ppm). La eliminación de estas es de gran importancia por ser consideradas como agentes pro-oxidantes (Erickson, 1995).

El contenido de elementos traza para el aceite blanqueado a condiciones óptimas (mínimo VP y máxima RTOCOLES en ausencia y presencia de oxígeno) se encontró dentro de los valores permitidos para un aceite de soya blanqueado (fósforo <2.0, hierro <0.10, cobre <0.05, calcio <0.10 y magnesio <0.10) según lo reportado por Erickson, 1995, indicando con esto la eficiencia del proceso de blanqueo del aceite de soya, al realizarse este, tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. Los elementos traza actúan como pro-oxidantes (Erickson, 1995), de ahí la importancia de ser eliminados antes de que el aceite pase a la siguiente etapa del proceso de refinación (desodorización).

En relación al perfil de ácidos grasos no se encontró presente ningún isómero correspondiente al ácido linoleico y linolénico (**Tabla 19**), al realizar el blanqueo en ausencia o presencia de oxígeno, corroborando con esto lo reportado por Medina, 2000, donde se menciona que la formación de este tipo de compuestos es en la etapa de desodorización del aceite y no en ninguna de las etapas anteriores del proceso de refinación.

Tabla 19. Composición de Ácidos Grasos del Aceite Blanqueado a Condiciones Óptimas (mg/ 100 mg de aceite).

Ácidos Grasos ¹	Neutralizado ²	Mínimo VP		Máxima RTOCOLES	
		ausencia de O ₂	presencia de O ₂	ausencia de O ₂	presencia de O ₂
Mirístico (C14:0)	0.15 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.16 ± 0.07	0.14 ± 0.16	0.15 ± 0.15
Palmitico (C16:0)	10.24 ± 0.02	10.81 ± 0.12	10.64 ± 0.16	10.36 ± 0.25	10.21 ± 0.23
Estéarico (C18:0)	3.48 ± 0.28	3.35 ± 0.16	3.52 ± 0.13	3.54 ± 0.26	3.32 ± 0.25
Oleico (C18:1)	22.86 ± 0.07	23.01 ± 0.10	23.2 ± 0.15	22.95 ± 0.36	22.81 ± 0.12
Linoleico (C18:2)	53.44 ± 0.27	53.21 ± 0.13	53.65 ± 0.19	52.96 ± 0.23	53.44 ± 0.26
<i>Trans</i>	0	0	0	0	0
Linolénico (C18:3)	7.49 ± 0.20	7.52 ± 0.21	7.68 ± 0.23	7.69 ± 0.18	7.59 ± 0.25
<i>Trans</i>	0	0	0	0	0
Araquidico (C20:0)	0.16 ± 0.010	0.12 ± 0.012	0.15 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.12

¹ : Limite de detección 0.1

² : Promedio de tres repeticiones