

Evaluación de la incidencia de los flujos recuperados del proceso de extracción del aceite de palma sobre su calidad y la del aceite refinado

Evaluation of the Effect of the Recovered Flows from the Palm Oil Extraction Process on the Crude and Refined Oil Quality

Linda C. Roa F.¹

Dalgi S. Barbosa T.²

Édgar E. Yáñez A.³

Jesús A. García⁴

Alonso Céspedes⁵

Christian Mantilla⁶

Resumen

En este estudio se analizó la influencia de la recuperación de aceite de centrífugas y florentinos del proceso de extracción, sobre la calidad del aceite de palma crudo, refinado y sus fracciones. Con este propósito, se diseñó un experimento en el cual se evaluaron varias calidades del aceite producido, basados en la inclusión de los diferentes recuperados de aceite generados en el proceso de extracción. En cada una de estas combinaciones (procesos) se tomaron muestras de aceite de palma en puntos de monitoreo estratégicos a lo largo de la cadena de extracción-refinación-fraccionamiento, a las cuales se les efectuaron análisis de calidad e identidad. Se encontró que el recuperado de mayor incidencia negativa sobre la calidad del aceite de palma es el de florentinos, evidenciado tanto en los procesos en los cuales participó, como en la caracterización individual del flujo, mostrando bajos valores de Dobi y Totox, y altos AGL (ácidos grasos libres). En el caso particular de la planta extractora estudiada, bajo las mismas condiciones de AGL de entrada, se puede esperar una reducción de los AGL en 0,1% con respecto a los AGL de la mezcla de los tres flujos si se retira el aceite de los florentinos, y en 0,4% si se retiran ambos flujos (quedando sólo licor de prensa). Si se retira el flujo de centrífugas los AGL se incrementan en 0,1%. Se pudo notar una diferencia importante en la facilidad de refinación en procesos con menor proporción de flujos recuperados. Se confirmó además la incidencia de la calidad del fruto a la entrada sobre la calidad del aceite de palma, incluso hasta después de la refinación y el fraccionamiento.

Summary

This study analyzed the influence of the oil recovered from centrifuges and florentines during the extraction process on the crude and refined palm oil and its fractions. With this purpose in mind, an experiment was designed to evaluate the different oil qualities produced, based on the inclusion of oil recovered from the extraction process. Samples were taken from each one of the combinations (processes) in strategic monitoring points throughout the extraction-refining-

Palabras Clave

Aceite de palma,
Recuperación de aceite,
Calidad del aceite.

1 . Estudiante en tesis de Química. UIS.

2 . Estudiante en tesis de Química. UIS.

3 . Ingeniero Químico. Investigador Auxiliar de Cenipalma.

4 . Ingeniero Sanitario. Investigador Asistente de Cenipalma.

5 . Ingeniero Químico. Director planta Monterrey-Proagro.

6 . Ingeniero Químico. Gerente Técnico Saceites.

fractioning chain, and were analyzed for identity and quality. It was found that the recovered oil with the highest negative impact on the palm oil quality was the one recovered from the Florentines. This fact was demonstrated in the processes it was used in, and in the individual flow characterization. It showed low Dobi and Totox values and high FFA (Free Fatty Acids). In the oil extracting plant studied, under the same FFA input conditions, a 0.1% reduction in FFA, with respect to the FFA in the three flow mixture, can be achieved if the oil from the florentines is removed, and 0.4% if both flows are removed (leaving press oil only). If the flow from the centrifuges is removed, the FFA increase by 0.1%. The refining process was significantly easier with lower proportions of recovered flows. Additionally, the impact of the fruit quality on the oil quality, even after the refining and fractioning process, was confirmed.

Introducción

La palma de aceite en Colombia se ha convertido en uno de los principales renglones agroindustriales por el repunte alcanzado en la última década en cultivo, extracción, refinación y por su exportación.

Dada la importancia de obtener productos de alta calidad en las plantas refinadoras, las plantas extractoras deben proporcionar necesariamente aceite de buena calidad. Para ello es primordial conocer las posibles causas que ocasionan la disminución de la calidad en el proceso de extracción.

Estudios realizados han mostrado la incidencia de varios flujos recuperados dentro del proceso de extracción sobre la calidad final del aceite producido (Hernández *et al.*, 2002). En este trabajo llevado a cabo en el laboratorio, simulando las condiciones de dos plantas extractoras nacionales, los autores lograron identificar variaciones en la calidad del aceite en cada punto del proceso de extracción incidiendo sobre las características fisicoquímicas y de calidad del aceite crudo. En el estudio citado se concluye que los flujos que ocasionan el mayor deterioro de la calidad son los recuperados de florentinos y los aceites recuperados de las centrifugas.

Los flujos recuperados de centrifugas y de florentinos presentan características de menor calidad que el aceite obtenido directamente del prensado del fruto, por el mayor tiempo de contacto de dichos flujos con las aguas lodosas y la exposición a altas temperaturas, reflejándose en los parámetros de acidez y estado de oxidación.

Mejorar la calidad del aceite de palma crudo obtenido en una planta extractora genera beneficios en los procesos de refinación y en la

misma extracción. Con un aceite de palma crudo de mejor calidad, la empresa extractora recibiría mayores ingresos por el mismo volumen producido, al aumentar la bonificación por porcentaje de acidez, mientras que la planta refinadora reduciría los costos de producción de aceite refinado, reflejado en la cantidad de insumos necesarios para llevar a cabo el proceso de refinación. Al final de esta cadena es posible ofrecer un alimento de mejores características al consumidor final.

En este estudio se evaluó la incidencia de los flujos recuperados en la calidad del aceite crudo a escala industrial, y su efecto en la refinación, mediante el análisis de parámetros de calidad e identidad del aceite de palma (Barbosa; Roa, 2003). La investigación se desarrolló en la planta extractora de Monterrey Proagro, ubicada en el municipio de Puerto Wilches (Santander) y en la planta refinadora de C.I. Santandereana de Aceites S.A., en la ciudad de Bucaramanga, bajo la dirección del Centro de Investigación en Palma (Cenipalma).

Metodología

La evaluación de la calidad del aceite de palma crudo se hizo a través de todo el proceso de extracción, desde el momento en que se obtiene un primer flujo (licor de prensa), hasta que es almacenado el aceite producido en la planta. En este trayecto el licor de prensa es sometido a combinaciones con otros flujos correspondientes a recuperados de aceites residuales (recuperados de centrifugas y recuperados de florentinos). Con el fin de determinar la incidencia de estos flujos en la calidad del aceite en las plantas extractora y refinadora, se definieron cuatro combinaciones de los mismos, como se muestra en la Tabla 1.

Estos procesos se monitorearon durante 16 semanas, lo que correspondió a cuatro repeti-

Tabla 1 Combinaciones de los flujos recuperados en planta extractora para los procesos definidos

	Licor de prensa	Recuperados de centrifugas	Recuperados de florentinos
Proceso A	x	x	x
Proceso B	x	x	
Proceso C	x		x
Proceso D	x		

Tabla 2 Distribución de los procesos en el tiempo de estudio

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Proceso	A	D	C	B	C	A	B	D	C	B	D	A	B	C	D	A

ciones de cada proceso –uno por semana, siguiendo un orden establecido al azar, que se aprecia en la Tabla 2. En cada caso se hizo un seguimiento a lo largo de la cadena de extracción, refinación y fraccionamiento del aceite de palma en forma consecutiva, mediante análisis de calidad e identidad.

En la planta de extracción se evaluaron los siguientes flujos:

1. Licor de prensa
2. Aceite recuperado de centrifugas
3. Aceite recuperado de florentinos (condensados de esterilización y purgas)
4. Salida de aceite antes de almacenamiento (mezcla de flujos independientes de acuerdo con el proceso).

A todos estos flujos se les realizó un seguimiento de la acidez cada dos horas, con el fin de detectar variaciones en el deterioro de la calidad. De manera adicional, se tomaron muestras en el momento de despachar el aceite a la planta refinadora.

A las muestras de los despachos, junto con las obtenidas de los cuatro flujos del proceso, se les efectuaron los análisis de acidez (%AGL), humedad, índice de peróxidos (IP), índice de p-anisidina, Dobi, índice de yodo (IY), punto de fusión e índice de refracción. A las muestras obtenidas en los despachos se les realizaron

adicionalmente los análisis de índice de saponificación y de caracterización química (perfil de ácidos grasos, mono, di y triglicéridos, carotenos y vitamina E).

En planta extractora se hizo la estimación de la cantidad de aceite aportado por los flujos de licor de prensa, recuperados de centrifugas y recuperados de florentinos.

Cada uno de los procesos de la planta extractora se evaluaron consecutivamente en la planta refinadora. La evaluación de la calidad del aceite en la refinación y el fraccionamiento se llevó a cabo en cinco puntos de monitoreo:

1. Tanque de recepción del aceite crudo
2. Después de la etapa de pretratamiento y blanqueo
3. Después de la etapa de desodorización (refinado)
4. Después del fraccionamiento (oleína)
5. Después del fraccionamiento (estearina).

A las muestras obtenidas de estos puntos se les realizaron los análisis de acidez, humedad, índice de peróxidos, valor de p-anisidina, Dobi, color, punto de fusión e índice de refracción.

También se realizaron análisis de índice de saponificación y contenido de grasa sólida a las muestras de refinado. El análisis de índice de estabilidad oxidativa se realizó sobre las muestras de refinado, oleína y estearina.

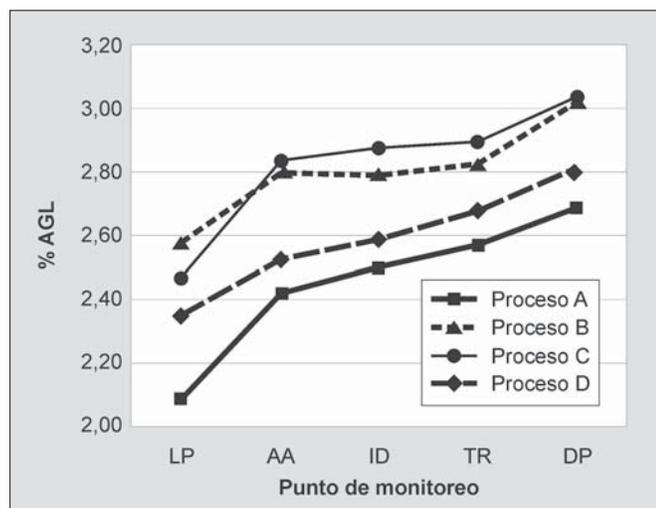
De manera adicional se realizó un seguimiento al proceso de desodorización con el fin de determinar el comportamiento de refinación de cada uno de los procesos, teniendo en cuenta el consumo de insumos, el tiempo de procesamiento y las características del producto final.

De igual forma se adelantó la caracterización de perfil de ácidos grasos, mono, di y triglicéridos, carotenos y vitamina E en todas las muestras obtenidas en el seguimiento de la planta de refinación.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a revisión y comparación haciendo uso del software *Statistix*, con el fin de detectar posibles errores aleatorios y establecer semejanzas y diferencias entre poblaciones de datos relacionados.

Resultados y discusión

La Figura 1 presenta los promedios de AGL obtenidos en puntos de monitoreo críticos de la extracción-refinación para cada proceso definido. Obsérvese la tendencia creciente de los AGL a medida que se avanza en el procesamiento, así como la dependencia de éstos con el valor de AGL obtenido en el licor de prensa: un bajo porcentaje de AGL en el licor de prensa determinará un valor también bajo en el aceite pretratado, en comparación con los otros procesos. La Figura 2 muestra el porcentaje de AGL presentes en el



LP: licor de prensa; AA: salida antes de almacenamiento; ID: integral de despachos; TR: tanque de recepción; DP: después de pretratado.

Figura 1 Comportamiento de los ácidos grasos libres en los puntos de monitoreo críticos del proceso de extracción-refinación para los cuatro procesos

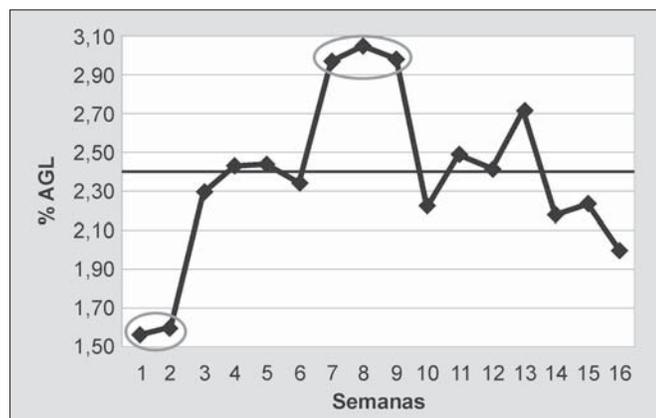
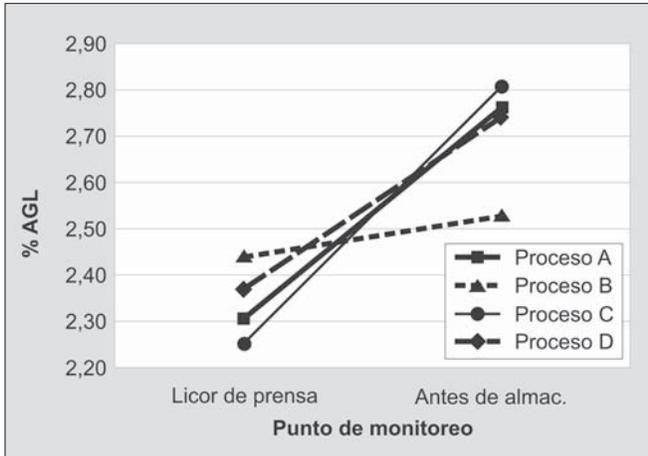


Figura 2 Comportamiento de acidez (AGL) en el licor de prensa en el tiempo del estudio

licor de prensa (LP) a la salida del prensado en cada una de las dieciséis semanas en las que se llevó a cabo el estudio. Dado que el monitoreo de la calidad se basa en la presencia o ausencia de flujos recuperados en la mezcla total, suponiendo condiciones de entrada al proceso uniformes (estado de deterioro del fruto, principalmente), valores extremos de AGL al inicio del proceso pueden enmascarar los resultados de incidencia sobre la calidad. Por tanto, las réplicas de los procesos correspondientes a las semanas 1 y 2 (baja acidez) y 7, 8 y 9 (alta acidez) fueron analizadas detenidamente antes de emitir conclusiones de su incidencia en la calidad. El resto de réplicas exhibe valores en el rango de 2,1 a 2,7 con promedio aproximado de 2,4.

Evaluación de la calidad del aceite en el proceso de extracción
En la Figura 3 se muestra el deterioro de la calidad del aceite crudo una vez se mezcla el licor de prensa con los flujos recuperados de centrífugas y de florentinos, reflejado en el incremento de la acidez entre el licor de prensa y el punto de monitoreo ubicado antes del almacenamiento del aceite crudo, para cada uno de los procesos definidos. El mayor deterioro en los AGL se advierte para el proceso C, cuando el LP se mezcla únicamente con los recuperados de florentinos (RF), mientras que la menor diferencia de acidez entre los dos puntos se da en el proceso D, ya que no hay combinación con ninguno de los dos flujos recuperados. Al observar las diferencias en los incrementos presentados por proceso, se puede concluir que el no combinar el LP con ninguno de los flujos recuperados podría significar una reducción en el porcentaje de AGL del aceite crudo final de cerca de 0,4%, en comparación con las condiciones actuales de operación, que corresponden con el proceso A, ya que se mezcla el LP con los RC y RF. De manera similar, si sólo se mezclara el LP con los RC, retirándole los RF (proceso B), se podría esperar una reducción de 0,1% en los AGL con respecto a las condiciones actuales de operación.

Un análisis de varianza (Anova) aplicado a los datos obtenidos del monitoreo cada dos horas de AGL en los puntos de LP y antes de almacenamiento permite concluir con 95% de probabilidad ($\alpha=0,05$) que la acidez de estos dos



Proceso	Ácidos grasos libres (AGL)		Diferencia
	Licor de prensa	Antes de almac.	
A	2,30	2,76	0,46
B	2,37	2,74	0,37
C	2,25	2,81	0,55
D	2,44	2,53	0,09

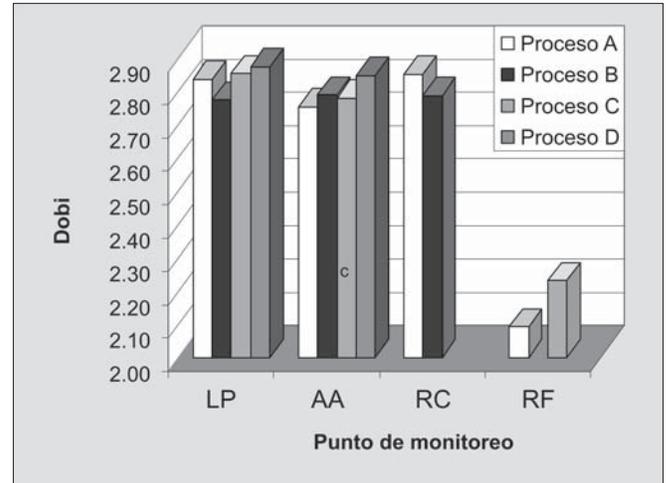
Figura 3 Incidencia de los AGL de los flujos recuperados vistos en la salida antes del almacenamiento en relación con el licor de prensa

puntos es estadísticamente diferente, comprobando la existencia de deterioro de dicha propiedad.

Aunque el porcentaje de AGL es el principal parámetro de calidad para la planta extractora, es importante notar las diferencias entre procesos para otras variables indicadoras de calidad como Dobi y Totox.

En la Figura 4 se ilustran los resultados del Dobi para los cuatro puntos de extracción en los cuatro tratamientos. Nótese que los RF presentan un índice Dobi muy bajo en comparación con los otros flujos de la planta extractora, lo cual significa que aportan un alto deterioro a la blanqueabilidad del aceite crudo. Las diferencias de Dobi entre procesos son pequeñas y estadísticamente no significativas. No obstante, se muestra el proceso D, en promedio, como el de mejor valor de esta propiedad, siendo los procesos A y C –que contienen RF– los de menor calidad reflejada en el Dobi.

Por su parte, la Figura 5 resume los resultados encontrados para el índice Totox en promedio para los cuatro procesos en planta extractora.



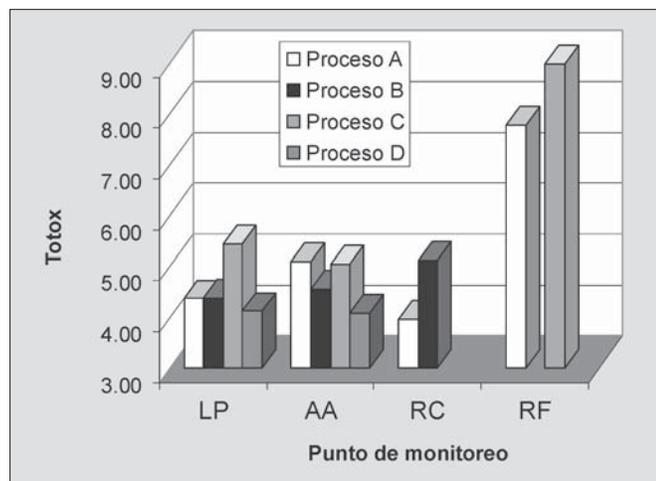
Proceso	Dobi							
	Licor de prensa		Antes de almac.		R. Centrifugas		R. Florentinos	
	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s
A	2,84	0,163	2,75	0,251	2,85	0,096	2,09	0,378
B	2,77	0,112	2,79	0,084	2,79	0,076		
C	2,85	0,162	2,78	0,092			2,23	0,387
D	2,87	0,064	2,85	0,085				

Figura 4 Resultados del Dobi en los puntos de monitoreo en planta extractora

De manera similar al Dobi, los RF son el flujo individual de menor calidad, reflejado en un alto valor del índice Totox (alto grado de oxidación). De nuevo, las diferencias entre procesos no son estadísticamente significativas, aunque el proceso D se muestra como el de menor estado de oxidación, mientras que los procesos A y C presentan el mayor deterioro en este índice, relativo a los valores en el punto antes de almacenamiento.

Para cada réplica de los procesos se calculó la función discriminante (FD), tal y como se describe en Tan *et al.* (2000), encontrando la misma tendencia marcada por el índice Dobi, mostrada en la Figura 4. Los flujos de licor de prensa y recuperados de centrifuga clasifican en la escala de FD de 11 a 20, considerado como regular o normal, mientras que los recuperados de florentinos se encuentran en la escala de FD pobre.

La Tabla 3 presenta una comparación de los resultados de este estudio de las variables de calidad (%AGL, Totox, Dobi y FD) con los



Proceso	Totox							
	Licor de prensa		Antes de Almac.		R.Centrífugas		R.Florentinos	
	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s
A	4,37	1,410	5,10	1,173	3,97	0,927	7,78	2,443
B	4,38	0,618	4,55	0,845	5,14	0,976		
C	5,46	1,614	5,05	0,463			9,29	5,482
D	4,13	0,870	4,10	0,587				

Figura 5 Resultados para el Totox en los puntos de monitoreo del proceso de extracción

Tabla 3 Comparación de estudios realizados de las variables indicadoras de calidad para el aceite crudo de palma

Variables	Comparación de variables de calidad					
	Tan y col. 2000		Hernández y col. 2002		Este estudio	
	\tilde{x}	s	\tilde{x}	\tilde{x}	\tilde{x}	s
% AGL	3,17	0,747	2,32	2,08	2,69	0,404
Totox	6,03	2,390	n.d.	n.d.	5,62	1,577
Dobi	2,70	0,272	2,90	3,18	2,72	0,092
FD	15,70	4,300	19,31	23,77	16,51	1,471

realizados por Tan *et al.*, en Malasia y por Hernández *et al.*, en dos plantas de beneficio en la Zona Norte de Colombia. Los resultados obtenidos para este estudio se encontraron por encima de los reportados por Tan *et al.* De acuerdo con los resultados reportados por Hernández *et al.*, no es precisa una comparación debido a que se desconoce la desviación estándar, sin embargo, sus promedios son mayores a los mostrados en este estudio.

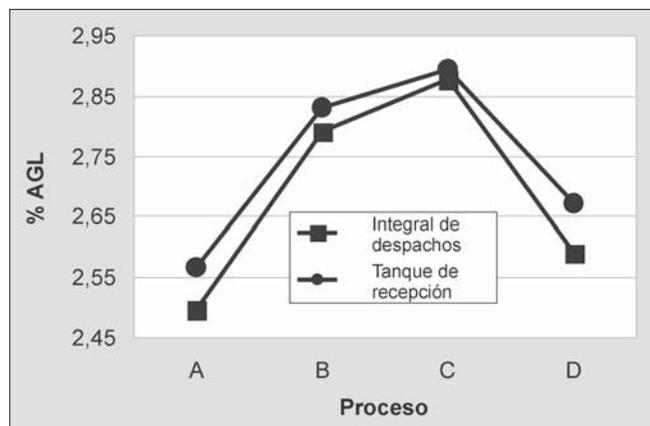


Figura 6 Comportamiento de los AGL antes y después del almacenamiento y transporte

Efectos del almacenamiento y el transporte sobre los parámetros de calidad

La Figura 6 presenta el comportamiento de los AGL en los puntos de despacho y recepción. Se observa que para los cuatro procesos, esta variable se incrementa de un punto a otro como resultado de las condiciones y el tiempo de almacenamiento y transporte. El Anova permite concluir con 95% de probabilidad ($\alpha=0,05$) que no existen diferencias estadísticamente apreciables entre los cuatro procesos. No obstante, la tendencia de los promedios presenta al proceso C como el de menor calidad reflejada en una alta acidez.

La Figura 7 representa el comportamiento del Dobi entre procesos para los dos puntos de monitoreo referidos. El Anova al 95% de probabilidad permite establecer que existen dos grupos con diferencia estadística marcada: el primer grupo conformado por los procesos D, A y B, y el segundo grupo por los procesos A, B y C en el tanque de recepción. Al 80% de probabilidad, D y A pertenecen al grupo de mayor Dobi, mientras que A, B y C pertenecen al segundo grupo. Este análisis permite concluir que los procesos C y D pertenecen a grupos diferentes, el primero de bajo Dobi (menor calidad) y el segundo de Dobi alto (mayor susceptibilidad al blanqueo). El Anova aplicado a los resultados de la integral de despachos confirma lo encontrado para el tanque de recepción: mejor calidad para el proceso D y menor calidad para el C. Adicionalmente, no hay diferencias significativas

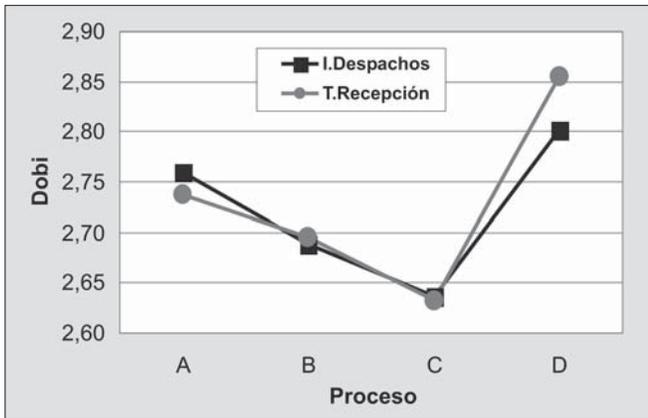


Figura 7 Comportamiento del Dobi antes y después del almacenamiento y transporte

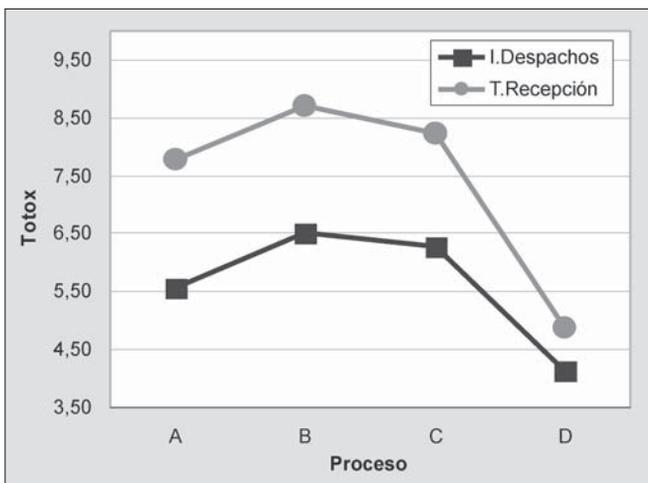


Figura 8 Comportamiento del Totox antes y después del almacenamiento y transporte

para diferenciar estadísticamente los procesos A y B, que se encuentran en un rango intermedio.

En la Figura 8 se presentan los datos obtenidos para el Totox en los puntos de despacho y recepción para cada proceso. El Anova para esta variable en el despacho al 95% de probabilidad no muestra diferencias significativas entre los procesos. A 80% se presentan dos grupos: el de mayor Totox, conformado por los procesos B, C y A, y el de menor Totox, conformado por A y D. Los promedios muestran la tendencia a que el proceso D presenta un mejor estado de oxidación.

Las observaciones presentadas permiten ver lo que en primera instancia se podría esperar.

Independientemente del tipo de tratamiento que se haya estudiado se presenta una disminución de la calidad del aceite desde la planta extractora a la planta refinadora, debido a que las condiciones de almacenamiento y transporte favorecen la formación de ácidos grasos libres, oxidación primaria y secundaria entre otros - oxidación e hidrólisis- dando como resultado un deterioro de la calidad del aceite crudo de palma.

Evaluación de la calidad del aceite en el proceso de refinación

La Tabla 4 resume el comportamiento de la refinación de cada una de las réplicas de los procesos, tomando en cuenta variables como el tiempo de procesamiento y el consumo de ácido cítrico y tierras de blanqueo en kilogramos de insumo por tonelada de aceite procesado. Para efectos de comparación se muestra el Dobi del aceite a la entrada de la etapa de pretratamiento y el porcentaje de AGL obtenido para el refinado a la salida del desodorizador, así como el color del mismo. Al final, con base en estas variables de proceso, entrada y salida, se da un concepto general cualitativo (bueno, regular o malo) del comportamiento de la refinación en esa réplica. El proceso que presenta mejor desempeño en la refinación es el D, puesto que tres de sus réplicas fueron calificadas como de buen comportamiento. El proceso de más dificultad en la refinación fue el C, al ser evaluadas como malas tres de sus réplicas. Obsérvese la tendencia de los procesos calificados como buenos a presentar colores más claros y menor porcentaje de AGL en el refinado, consumiendo menor cantidad de insumos y correlacionando con los valores típicamente altos del Dobi a la entrada. En contraste, los procesos catalogados como malos exhiben altas tasas de consumo de tierras blanqueadoras y ácido cítrico, sin lograr aún un refinado de buenas características, lo que se refleja en un color fuerte y una acidez relativamente alta. En su mayoría, las réplicas que presentaban un valor bajo de Dobi a la entrada del desodorizador, siguieron un comportamiento malo de la refinación.

En la Figura 9 se ilustran los promedios obtenidos por proceso para el porcentaje de AGL después de la refinación, para las muestras de refinado, oleína y estearina. Nótese que incluso en esta instancia, continúa siendo el proceso D

Tabla 4 Indicadores del comportamiento de la calidad antes, durante y después de la refinación para cada una de las repeticiones de los procesos

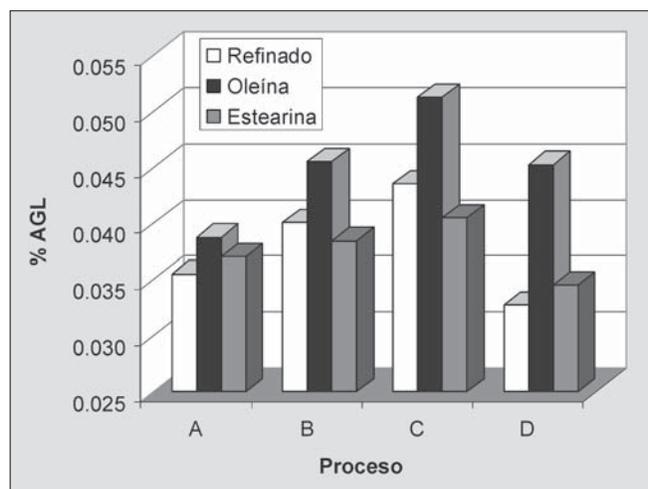
Proceso	Dobi T. Recep.	Indicadores de calidad en la refinación					Concepto general
		Consumo (kg/t)		% AGL Refinado	Color refinado		
		Ac. Cit.	Tierras		Amarillo	Rojo	
A1	2,76	0,74	5,21	0,031	20	2,2	Bueno
A2	2,66	1,23	8,82	0,029	28	2,9	Malo
A3	2,53	1,36	7,70	0,038	25	2,5	Regular
A4	3,00	0,87	6,52	0,029	20	2,0	Bueno
B1	2,61	1,03	6,94	0,039	27	2,7	Regular
B2	2,62	1,28	10,44	0,047	29	2,9	Malo
B3	2,84	1,30	11,60	0,044	26	2,6	Malo
B4	2,71	1,55	8,36	0,045	22	2,2	Regular
C1	2,44	1,15	7,32	0,052	29	2,9	Malo
C2	2,59	1,23	8,86	0,034	29	2,9	Malo
C3	2,70	1,23	10,99	0,05	28	2,8	Malo
C4	2,80	1,40	6,85	0,031	24	2,4	Regular
D1	2,80	0,71	5,00	0,040	23	2,3	Bueno
D2	2,79	1,31	10,94	0,033	23	2,3	Regular
D3	2,89	0,83	6,31	0,038	21	2,2	Bueno
D4	2,95	1,21	6,13	0,037	20	2,0	Bueno

el de mejores características de calidad. El refinado que mostró mayor acidez fue el de las réplicas del proceso C, siguiendo la tendencia de los parámetros de calidad desde la planta extractora. Después del fraccionamiento, es la oleína la fracción que retiene en mayor porcentaje los AGL presentes en el refinado, para todos los procesos evaluados.

El promedio del índice Totox medido para las muestras de refinado, oleína y estearina es reportado en la Figura 10 por proceso. La mejor calidad, una vez más, reflejada en un menor estado de oxidación del refinado, la observa el proceso D, mientras que los procesos A y C muestran lo contrario. Al comparar las fracciones estearina y oleína, es esta última la que presenta un estado de oxidación mayor, al estar conformada en mayor proporción por grasas insaturadas, como lo confirmará el análisis de caracterización química.

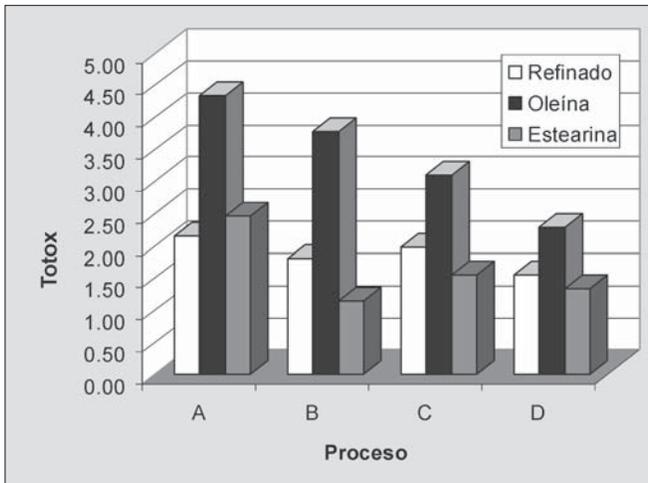
Resultados de la identificación y caracterización química del aceite de palma

Los resultados para la identificación general del aceite de palma crudo y refinado se basaron en los análisis de índice de yodo, índice de



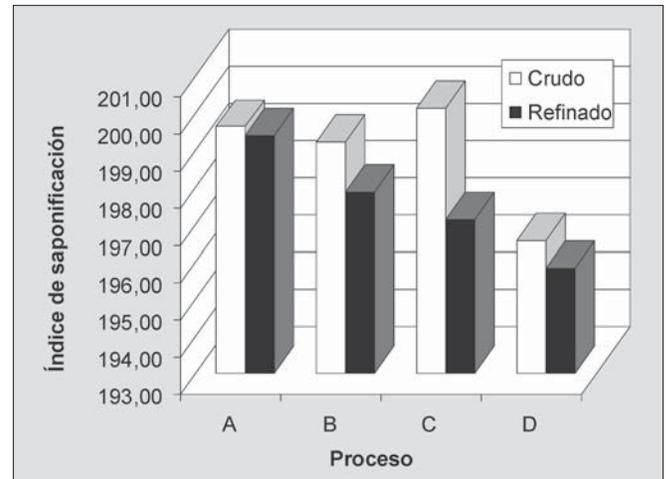
Proceso	% Ácidos grasos libres (AGL)							
	Pretratado		Refinado		Oleína		Estearina	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
A	2,69	0,628	0,036	0,0042	0,039	0,0066	0,037	0,0053
B	3,02	0,137	0,040	0,0009	0,046	0,0060	0,038	0,0027
C	3,03	0,081	0,044	0,0041	0,051	0,0035	0,041	0,0088
D	2,81	0,728	0,033	0,0039	0,045	0,0044	0,035	0,0042

Figura 9 Resultados obtenidos para los AGL en puntos de monitoreo del proceso de refinación



Proceso	Pretratado		Refinado		Oleína		Estearina	
	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s
A	5,95	0,860	2,15	0,615	4,33	3,439	2,46	1,647
B	5,17	1,140	1,79	0,662	3,77	1,166	1,13	0,318
C	7,01	1,385	1,97	0,541	3,10	1,313	1,54	0,345
D	4,30	0,961	1,55	0,322	2,28	1,324	1,334	0,515

Figura 10 Resultados obtenidos para el Totox en puntos de monitoreo del proceso de refinación



Proceso	Crudo		Refinado	
	\tilde{x}	s	\tilde{x}	s
A	199,66	1,370	199,43	5,452
B	199,25	4,286	197,88	4,609
C	200,14	4,386	197,14	1,878
D	196,58	3,167	195,85	2,921

Figura 11 Resultados obtenidos para el índice de saponificación en muestras de aceite crudo y refinado

refracción, punto de fusión e índice de saponificación. Los resultados de estos análisis se encontraron dentro de los rangos presentados en la literatura, como se aprecia en la Tabla 5.

A pesar de tratarse de análisis que buscan identificar al aceite de palma como tal, algunas de estas mediciones pueden ofrecer pistas

importantes sobre el deterioro de la calidad. Por ejemplo, el índice de saponificación refleja la probabilidad de formar ácidos grasos esterificados, lo cual se relaciona con el estado de oxidación del aceite. La Figura 11 muestra los resultados obtenidos para este índice, donde se observa que el proceso D es el que exhibe un menor valor, y el más alto para el proceso C, en

Tabla 5 Comparación de los resultados obtenidos con los reportados en literatura de las variables de identidad para el aceite crudo, refinado, oleína y estearina

Aceite/Comparación	Variables de identidad				
	IY	PF(°C)	IR	IS	
Crudo	Estudio	53,65	35,7	1,4545	198,91
	Rango característico	50-58	34-40	1,4490-1,4550	195-205
Refinado	Estudio	53,53	35,9	1,4544	197,57
	Rango característico	50-58	34-40	1,4490-1,4550	195-205
Oleína	Estudio	58,65	16,2	1,4579	n.d.
	Rango característico	56-61	máx. 24	1,4580-1,4600	
Estearina	Estudio	45,06	45,6	1,4535	n.d.
	Rango característico	máx. 48	máx. 55	1,4490-1,4540	

Fuente rango característico: Normas ICONTEC, 1999

las muestras de aceite crudo. Este índice disminuye después de la refinación para todos los procesos.

En la Figura 12 se presenta la composición de ácidos grasos de las muestras de despachos en planta extractora, pretratado, refinado, oleína y estearina en promedio de todas las réplicas de los procesos. La composición de ácidos grasos se mantiene aproximadamente constante, incluso hasta después de la refinación. Al separarse el refinado en sus fracciones, la estearina lleva una mayor proporción de ácidos saturados (palmítico y esteárico), y la oleína de ácidos insaturados (oleico y linoleico). En la Tabla 6 se compara la composición promedio de ácidos grasos en el aceite crudo encontrada en este estudio con la reportada por la literatura, mostrando una alta proporción de ácido oleico en comparación con un crudo normal. El ACP estudiado presenta 45,73% de ácidos grasos

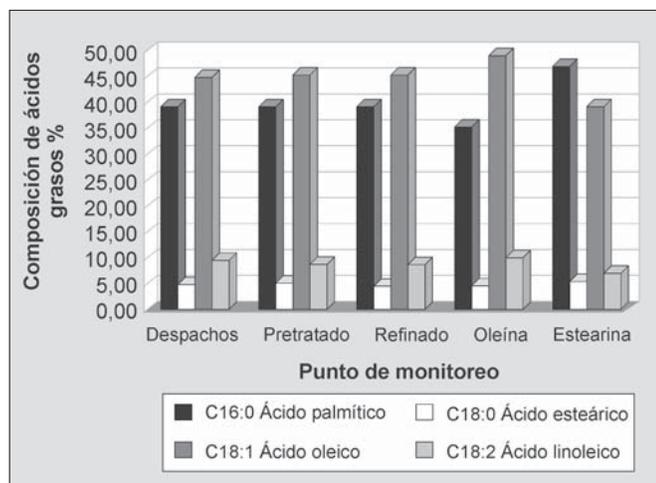


Figura 12 Composición de ácidos grasos en muestras de crudo, pretratado, refinado, oleína y estearina

Tabla 6 Comparación de la composición obtenida para el aceite crudo con los valores típicos de un ACP

Ácido graso	Rango característico (Tan y col., 2000)	Este estudio	
		\bar{x}	S
Palmítico (AGS)	35 - 40 %	39,27 %	1,27 %
Oleico (AGM)	22 - 39 %	44,81 %	0,92 %
Linoleico (AGP)	15 - 20 %	9,14 %	0,91 %

AGS: Ácido graso saturado; AGM: Ácido graso monoinsaturado; AGP: Ácido graso poliinsaturado.

saturados –en su mayoría ácido palmítico– y 54,27% de ácidos grasos insaturados –en su mayoría oleico.

La Figura 13 ilustra la composición de mono, di y triglicéridos. No se observa una diferencia apreciable en composición de los triglicéridos entre despachos y después del pretratamiento. Con la refinación hay un incremento en la fracción de triglicéridos totales, debido a la disminución de los mono y diglicéridos, que son retirados en la desodorización.

Los triglicéridos se clasifican de acuerdo con el grado de insaturación, basado en las cadenas de ácidos grasos que los forman, diferenciándolos en U3, SU2, S2U y S3. U3 representa la combinación de ácidos grasos insaturados (triinsaturados), como el OOO (oleico-oleico-oleico); SU2, la combinación de un ácido graso saturado y dos insaturados (monosaturado-diinsaturado), como el POO (palmítico-oleico-oleico); S2U representa un ácido graso insaturado y dos saturados (disaturado-monosaturado), como el POP (palmítico-oleico-palmítico); S3, ácidos grasos saturados (trisaturados), como el PPP (palmítico-palmítico-palmítico). La distribución de U3, SU2, S2U y S3 no se altera después de la refinación. De acuerdo con los gráficos circulares (Figura 14), después del fraccionamiento, la oleína presenta una mayor proporción de combinaciones de ácidos grasos insaturados (U3 y SU2), como es su naturaleza, mientras que

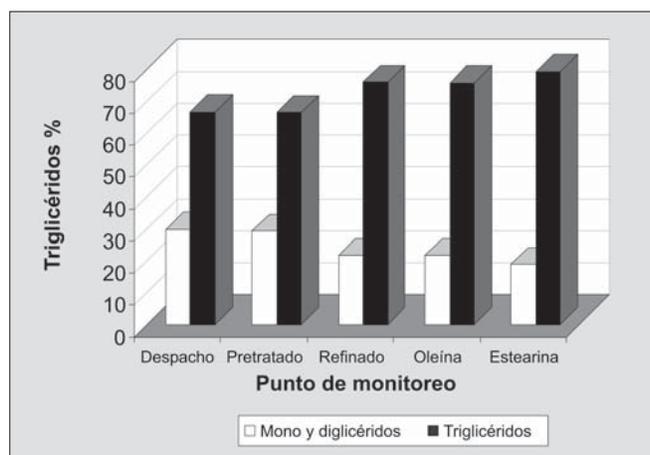


Figura 13 Composición de mono, di y triglicéridos en los puntos de monitoreo de planta refinadora y despachos de planta extractora

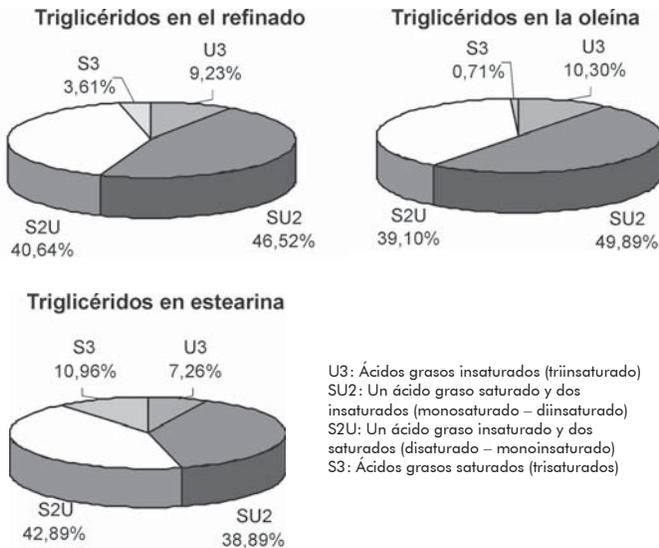


Figura 14 Composición de triglicéridos de acuerdo con su grado de insaturación en refinado, oleína y estearina

en la estearina es mayor la proporción de combinaciones de ácidos grasos saturados (S2U y S3).

En la Tabla 7 se comparan las composiciones típicas de los triglicéridos para un ACP con las reportadas para este estudio. Se observa que en el crudo analizado aquí hay una mayor proporción de las combinaciones de ácidos grasos insaturados que en el ACP típico, lo que se debe ver reflejado en una mayor cantidad de la fracción líquida del aceite (oleína) en comparación con un ACP típico.

Se aprecia en la Figura 15 la proporción de carotenos en el aceite de palma estudiado. Se observa una disminución en los niveles de carotenos entre el punto de despachos y el después del pretratamiento. Esto se explica porque al adicionarles las tierras de blanqueo, una fracción de los carotenos es oxidada. Los carotenos son retirados 100% en la etapa de desodorización, como se muestra por la ausencia en el refinado y sus fracciones. El rango característico de carotenos en un ACP es de 500 a 700 ppm (Murria *et al.*, 1994), mientras que los observados en este estudio fueron de 1583 ppm en promedio. Los carotenos analizados en este estudio se componen de 37,55% de α y 62,45% de β según Murray *et al.* (1994); el

Tabla 7 Comparación de la composición de triglicéridos obtenida para un aceite crudo con los valores típicos de un ACP

Combinaciones de ácidos grasos	Rango característico (Tan y col., 2000)	Este estudio
U3	4 – 8 %	9,52 %
SU2	32 – 54 %	47,07 %
S2U	41 – 59 %	39,49 %
S3	3 – 12 %	4,10 %

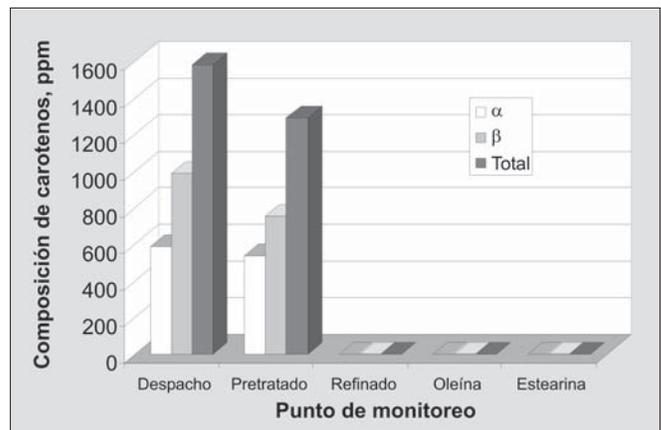


Figura 15 Composición de carotenos en los puntos de monitoreo de planta refinadora y despachos de planta extractora

contenido de carotenos típico de un APC es 36% de α , 55% de β y 9% de otras fracciones.

La Figura 16 presenta la composición de vitamina E en tocoferoles y tocotrienoles. Se observa que después de la refinación se disminuye la cantidad total de vitamina E, al ser retirada parcialmente en la desodorización. Esta pérdida es de 22% aproximadamente, mientras que los valores normales reportados para el proceso de refinación son de alrededor del 30% (Murray *et al.*, 1994). En el ACP se encontró un promedio de 1170 ppm de vitamina E para este estudio, superior al rango típico para un ACP, de 600 a 1000 ppm, según Tan *et al.* En esta misma fuente se reporta una proporción característica de 70% de tocotrienoles y 30% de tocoferoles, mientras que en este estudio dichos porcentajes son de 75 y 25% respectivamente. Al fraccionar, la oleína conserva una mayor cantidad de vitamina E en sus dos formas.

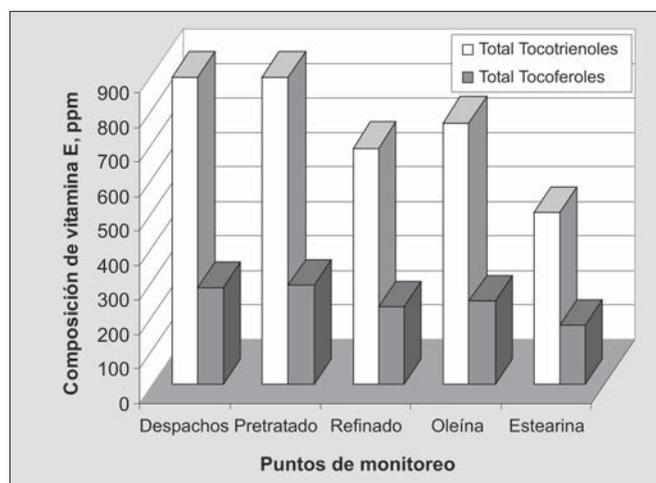


Figura 16 Composición de vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) en los puntos de monitoreo de planta refinadora y despachos de planta extractora

Implicaciones económicas del deterioro de la calidad en plantas extractora y refinadora

Como se observa en la Figura 17, los recuperados de centrífugas y de florentinos aportan alrededor del 13% de la producción total de la planta extractora estudiada. Por consiguiente, el hecho de prescindir de estos flujos con el fin de mejorar la calidad del aceite crudo producido debe ir acompañado de la posibilidad de obtener beneficio económico de ellos, ofreciéndolos para otros usos.

Tal como se mostró en la Figura 3, si se dejaron de adicionar los flujos de centrífugas y florentinos al aceite crudo, se esperaría una reducción de 0,4% en los AGL, concepto por el cual se recibiría una mayor bonificación por parte del comprador. Para las condiciones actuales del mercado, este



Figura 17 Porcentaje de aceite producido en cada uno de los flujos de planta extractora: prensas, centrífugas y florentinos

aumento en la bonificación incrementaría en 1% los ingresos por venta del ACP (se adicionan 15.000 pesos por tonelada cuando el precio de una tonelada es de 1.500.000 pesos, suponiendo que los AGL bajan de 2,50 a 2,10%).

En planta refinadora es posible disminuir los costos de procesamiento asociados al consumo de ácido cítrico y tierras de blanqueo, al procesar un aceite de mejor calidad. A partir de la información contenida en la Tabla 2, se compara un proceso A típico –se selecciona la réplica A3, pues representa un valor intermedio de consumo, en una época de cosecha de fruto neutral– con un proceso D típico. Se toma la réplica D3 por la misma razón en la Tabla 8. De esta forma, si se retiraran los recuperados de centrífugas y de florentinos, se disminuirían los costos de ácido cítrico y tierras de blanqueo en 38,9 y 18,0% respectivamente.

Tabla 8 Disminución del consumo de ácido cítrico y tierras blanqueadoras en el proceso de refinación al retirar los RF y RC en planta extractora

	Proceso A (LP+RC+RF)	Proceso B (LP)	Disminución consumo (%)
Consumo ácido (kg/t)	1,36	0,83	38,9
Consumo tierras (kg/t)	7,70	6,31	18,0

Conclusiones

- La naturaleza del fruto a la entrada del proceso de extracción es una variable determinante en la calidad del aceite crudo, así como del proceso de refinación.
- Existe incidencia de los flujos recuperados de centrífugas y de florentinos, reflejada en la disminución de la calidad del aceite crudo proveniente del prensado del fruto.
- Las variables indicadoras de calidad (% AGL, Totox, Dobi y función discriminante) mostraron que los recuperados de florentinos son los flujos que mayor ocasionan deterioro de la calidad del aceite. De igual manera, estas variables permitieron mostrar a lo largo de la cadena de extracción-refinación que el proceso D, que no mezcla el licor de prensa con ningún flujo recuperado, da origen a un aceite con mejor calidad, mientras que el

proceso C mezclado únicamente con recuperados de florentinos es el de menor calidad.

- Los procesos A y B generaron características de calidad intermedias; no obstante, el análisis estadístico efectuado no mostró diferencias significativas entre estos dos procesos, aunque las tendencias de los promedios, en la mayoría de los casos, dejaban ver una mejor calidad del proceso B en relación con el proceso A.
- Para todos los procesos, existe un deterioro de la calidad desde el despacho en planta extractora hasta el almacenamiento en planta refinadora, visto en las variables de calidad.
- El análisis de triglicéridos deja ver un porcentaje de combinaciones de ácidos grasos insaturados mayor al normal para un aceite de palma crudo, de lo cual se puede inferir que el rendimiento de oleína del crudo analizado puede ser mayor a los valores normales.
- Los carotenos son totalmente retirados en el proceso de refinación, pero la vitamina E tan sólo sufre una disminución de 22%, mejor que los valores reportados en Tan *et al.* (2000), del orden del 30%. De manera adicional, el crudo analizado presenta un contenido de vitamina E superior a los rangos reportados.
- Al retirar los flujos recuperados de centrifugas y florentinos se reduce en 0,4% los AGL y si sólo se retiran los recuperados de centrifugas se incrementan en 0,1%, con respecto al proceso actual llevado en la planta extractora Monterrey, concepto por el cual se recibiría una mayor bonificación por parte del comprador. Si se retira el flujo de centrifugas los AGL.
- En la planta de refinación se vio reflejada la disminución de los costos de insumos de

ácido cítrico y tierras de blanqueo en 38,9 y 18,0% respectivamente, si se retiran los flujos recuperados de centrifugas y de florentinos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Colciencias por la financiación parcial para el desarrollo de este proyecto (cod. 762-07-217-99). Al Centro de Investigación en Palma (Cenipalma) por su dirección y por hacer posible la publicación de este estudio. A las empresas Monterrey Proagro, a la Comercializadora Internacional Santandereana de Aceites S.A. por permitir la ejecución de esta investigación, y a la Universidad Industrial de Santander. ☼

Bibliografía

- BARBOSA, D.; ROA, L. 2003. Evaluación de la incidencia de los flujos recuperados del proceso de extracción del aceite de palma sobre su calidad y la del aceite refinado. Bucaramanga. Trabajo de Grado (Química). Universidad Industrial de Santander, Química. 173 p.
- HERNÁNDEZ, C. *et al.* 2002. Seguimiento y control de calidad al proceso de clarificación en dos plantas extractoras de aceite de palma en la Zona Norte colombiana para el incremento en la eficiencia del proceso. Tunja. Trabajo de Grado (Química de Alimentos) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Química de Alimentos. 167 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. 1999. Normas para análisis de laboratorio, (Icontec NTC 217, NTC 218, NTC 287, NTC 236, NTC 4197, NTC 283, NTC 213, NTC 289, NTC 564, NTC 335, NTC, 431), Bogotá.
- MURRAY, R.K. *et al.* 1994. Bioquímica de Harper. Manual moderno, México, p.169 - 269.
- TAN, Y.A. *et al.* 1994. Crude palm oil survey 97/98: Quality and identity characteristics. Revista Palmas, v.21, no.4, (2000), p.39-55.