

Reducción de pérdidas de aceite y almendra en plantas de beneficio en Colombia

Oil and Kernel Loss Reduction in Colombia Oil Mills

Édgar E. Yáñez A.¹
Jesús A. García²

Resumen

La normalización en la forma de expresar las pérdidas de aceite y almendra en las plantas de beneficio en Colombia, a través de la ejecución del balance de pérdidas, ha permitido generar un proceso de referenciación entre zonas y entre plantas de una misma zona, que propicia una evolución constante en la optimización y control de los procesos de extracción de aceite y recuperación de almendra. Este proceso liderado por Cenipalma en coordinación con sus comités asesores regionales, promueve la identificación de equipos y mejores prácticas de operación que permitan incrementar su eficiencia, generando proyectos de investigación en las etapas críticas del proceso. Como herramienta de gestión, la utilización y referenciación de los balances de pérdidas de aceite y almendra, en plantas que procesan 40% del fruto nacional producido, generó para el 2002 ingresos adicionales por cerca de 553 mil dólares basados en reducción de pérdidas de aceite y 72 mil dólares por almendra. El potencial actual en Colombia de reducción de pérdidas se encuentra en 3 millones de dólares anuales cuando se tenga un cubrimiento absoluto del territorio nacional y se alcancen para ellos los niveles actuales de máxima eficiencia de proceso.

Summary

The standardization of how oil and almond loss is expressed in the oil mills of Colombia, through the implementation of loss balance, has allowed the generation of a referenciación process between zones and mills of the same zone, which propitiates a steady evolution of oil extraction and almond recovery. This process, with the leadership of Cenipalma in coordination with their regional consultants, promotes the identification of equipment and operation best practices that allow increasing their efficiency, generating research projects in those points that deserve their attention. As a managing tool, the use and referenciación of oil and almond balances in mills that process 40% of the fruit produced in the nation, in 2002 generated additional income of approximately US\$ 553.000, based on the reduction of oil losses and US\$ 72.000 per almond. The current loss reduction potential of Colombia is of US\$ 3 millions per year, once all the national territory is covered and the current process efficiency is achieved.

Palabras Clave

Aceite de palma,
Pérdidas de aceite,
Pérdidas de almendra,
Extracción de aceite.

1 . Ingeniero Químico. Investigador Auxiliar Cenipalma. E-mail: edgar.yanez@cenipalma.org
2 . Ingeniero Sanitario. Investigador Asistente Cenipalma. E-mail: jagarcia@uga.edu

Introducción

Cuando se piensa en incrementar la eficiencia de un proceso y llevarlo hasta niveles más altos de productividad, es necesario realizar un diagnóstico donde se identifiquen en primera instancia las etapas generadoras de ineficiencia, por pérdidas del producto interés, retrasos en el proceso, deterioro de la calidad, etcétera. Luego de la identificación se procede a la cuantificación de los mismos con el propósito de establecer prioridades y determinar la magnitud de cada problema.

Cenipalma durante los años 1995 y 1996, realizó un diagnóstico tecnológico de las plantas de beneficio en Colombia, identificando el estado tecnológico de la Agroindustria de la Palma de Aceite. Con la realización de esta evaluación, se propusieron cinco áreas de interés para el desarrollo del gremio, atendiendo las necesidades más profundas en el control de proceso y su impacto ambiental. Como resultado sobresaliente, se encontró la alta diversidad en el tipo de análisis y procedimientos realizados para la estimación de pérdidas, así como la inconveniencia de presentar resultados de pérdidas sin tener en cuenta el flujo del proceso sobre el cual se estima esta pérdida. Lo anterior impide establecer correctamente fluctuaciones en las condiciones de operación y desarrollo del proceso y su consecuente evaluación de la eficiencia real del mismo.

Es así como García *et al.* (2000) plantearon la necesidad de buscar una herramienta mediante la cual, basados en un balance másico del proceso, pudieran evaluarse todas y cada una de las pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma, unificando su base de cuantificación y presentación de resultados. De esta manera es posible evaluar de manera más precisa los cambios en el proceso y establecer una base de referenciación entre cada una de las plantas de una zona palmera y en general del país.

El siguiente paso, luego de poseer una herramienta para la evaluación estándar de las pérdidas en el proceso, es generar un proceso de puesta en marcha y transferencia de la misma, con el cual se pueda evaluar el estado real del procesamiento de racimos de palma de aceite en Colombia y a continuación generar alternativas

de mejoramiento que permitan reducir las pérdidas evaluadas, tarea asumida por Cenipalma con el apoyo de los comités asesores regionales creados por la entidad.

En el presente documento se presentan los mecanismos empleados por Cenipalma en el desarrollo de una estrategia conjunta de mejoramiento gremial en la productividad de la Agroindustria de la Palma de Aceite, apoyadas por los proyectos de investigación ejecutados en procura de incrementar la eficiencia del proceso de extracción de aceite.

Materiales y métodos

Teniendo en cuenta la distribución geográfica de los cultivos de palma de aceite en Colombia (Figura 1) y la diversidad de problemas encontrados en cada una de las zonas, no sólo en el cultivo sino también en las plantas de beneficio, Cenipalma creó los comités asesores regionales. En éstos participan representantes de cada una de las plantas de beneficio, con el fin de estudiar y plantear alternativas de mejoramiento del proceso.

En el seno de estos comités se planteó la necesidad de generar un procedimiento unificado para evaluar y cuantificar las pérdidas de aceite, razón por la cual se realizaron varios proyectos de grado en ingeniería química, con el fin de estandarizar la metodología. De esta forma, Cenipalma pudo plantear una herramienta unificada transferida por funcionarios de la entidad en cada una de las zonas palmeras, con la realización de talleres de capacitación para directores de plantas y laboratoristas encargados de realizar el balance de pérdidas de aceite en planta. Estas actividades de transferencia fueron apoyadas con la elaboración de un manual de laboratorio de plantas de beneficio en Cenipalma, que permitió estandarizar los métodos de muestreo y análisis realizados en laboratorio para el control de proceso.

Posterior a la identificación y valoración de las pérdidas de aceite se han generado una serie de proyectos de investigación en los puntos críticos establecidos, tendientes a plantear alternativas de mejoramiento que serán presentadas en el artículo. Cada una de las propuestas son nuevamente transferidas a los miembros de los

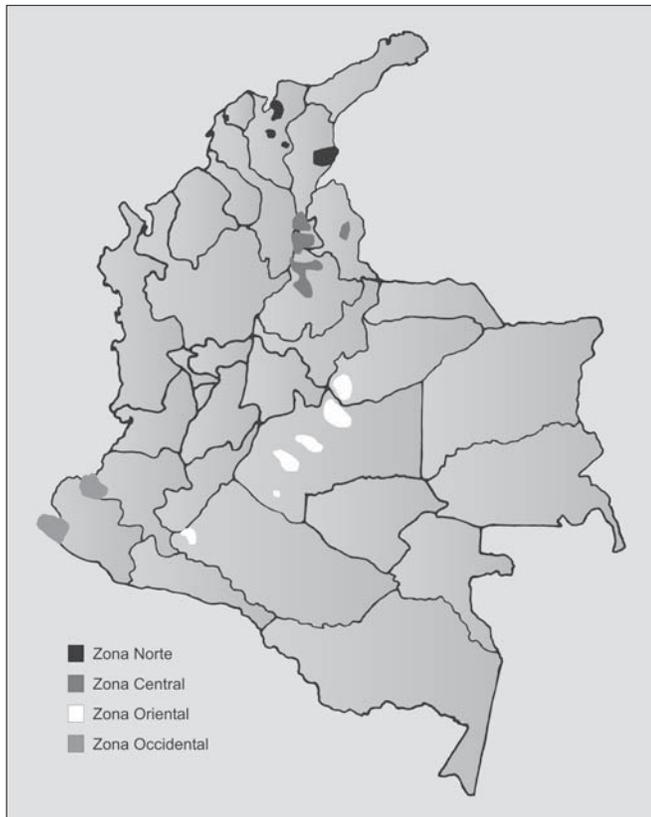


Figura 1 Distribución geográfica de los cultivos de palma de aceite en Colombia

comités, con el compromiso de poner en marcha las prácticas de mejoramiento y reducción de pérdidas de aceite en el proceso.

Resultados y discusión

Productividad y conceptualización

Antes de iniciar la discusión sobre los aspectos estudiados en el mejoramiento del proceso, es necesario establecer la base sobre la cual se construyen varios conceptos manejados en la optimización del proceso de extracción.

El concepto de productividad está relacionado no sólo con el volumen de producción sino adicionalmente con el rendimiento o eficiencia del proceso empleado. Esto es, una empresa sobrevive no por la producción sino por su productividad. Es un deber en toda cadena productiva manejar altos rendimientos con niveles en el volumen de producción por encima de límites inferiores establecidos, para así

contribuir a la obtención de un margen de ganancia importante.

En todo proceso es común hablar de eficiencia y pérdidas. Siempre que se desea evaluar una actividad desarrollada, se busca una medida que represente el cumplimiento del objetivo de esa actividad. Sin embargo, el término eficiencia incluye la necesidad de establecer un valor de referencia o nominal contra el cual se compare y establezca de esta forma el porcentaje de cumplimiento o satisfacción del objetivo planteado. De otro lado, las pérdidas son todos los aspectos que reflejan el nivel de eficiencia obtenido durante la actividad y sobre los cuales deben generarse mejoras para acercar la eficiencia hasta el valor hipotético establecido como máximo. Por lo anterior, debe tenerse en cuenta que en todo proceso productivo donde se desea calificar la ejecución o desarrollo del mismo, no es posible basar esta medida en valores absolutos, sino en mediciones relativas basadas en los conceptos de pérdidas y eficiencia.

Balance de masa

En las plantas de beneficio de fruto de palma de aceite se generan dos productos principales de interés comercial como es el aceite rojo de palma y la almendra. Sin embargo durante el proceso de extracción se generan pérdidas de aceite y almendra en diferentes etapas del proceso. El balance de masa, llamado a partir de este momento balance de pérdidas, se elabora a partir de la identificación y posterior cuantificación de los flujos másicos de aceite y almendra. Para esto es necesario determinar no sólo la composición de cada flujo sino adicionalmente valorar la magnitud del flujo másico (Figura 2) y posteriormente relacionarlo a una unidad estándar, que se ha considerado sea la capacidad de proceso en toneladas de racimos por hora, para expresar todas las pérdidas en las mismas unidades de la tasa de extracción de aceite.

Los cálculos específicos y la frecuencia de muestreo fue mencionada por García (2000); con el fin de establecer un valor mínimo en la representatividad de los resultados obtenidos. Con la elaboración de esta metodología se consiguió unificar los procedimientos de muestreo y análisis para presentar y comparar resultados sobre la misma base.

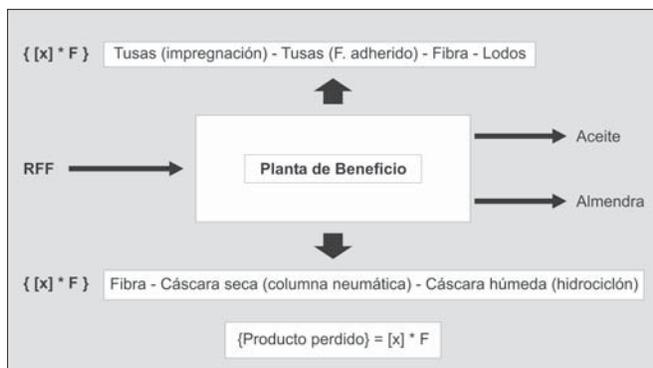


Figura 2 Balance de masa en plantas de beneficio para establecer pérdidas

Utilización y cubrimiento nacional

El propósito gremial dentro de su plan de direccionamiento estratégico es conseguir una reducción global de pérdidas de aceite en el proceso cercano al 1,77% aceite/RFF. Este valor debe ser alcanzado en el orden nacional, por cuanto la utilización de la metodología en todas las plantas del país es un propósito dentro de las actividades de transferencia de Cenipalma.

Es así como desde los primeros trabajos de Cenipalma en balances de pérdidas de aceite realizado en la Zona Central colombiana, se han desarrollado talleres y cursos de capacitación para el personal técnico de laboratorio orientados por Cenipalma. La evolución en la utilización de los balances de pérdida en Colombia se aprecia en la Figura 3.

Se muestra en la Tabla 1 el cubrimiento regional y nacional de fruto procesado por plantas que están manejando actualmente la metodología de balance de pérdidas de aceite, y se presenta que a finales de 2003 el 87% de la producción total de racimos, fueron procesados con este concepto para el control de pérdidas.

Tabla 1 Cubrimiento de los balances de pérdidas de aceite por zona, teniendo en cuenta el fruto procesado

Zona	T RFF (2002)	% cubrimiento
Norte	763.000	93
Central	610.000	100
Oriental	950.000	70
Occidental	324.000	97
Nacional	2.647.000	87

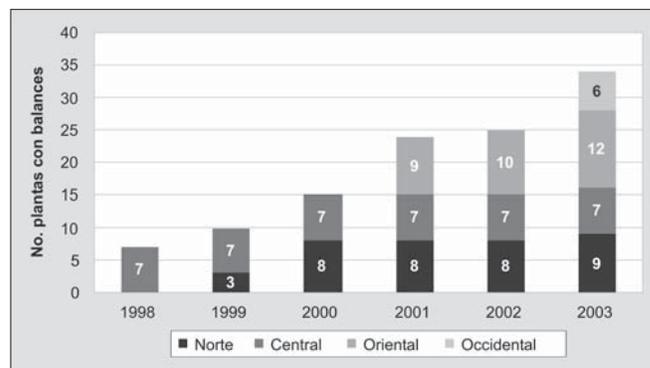


Figura 3 Evolución en la implementación de los balances de pérdidas de aceite por zonas palmeras en Colombia

Etapas estudiadas del proceso

El incremento en la eficiencia del proceso de extracción de aceite y recuperación de almendra, ha incluido no sólo la valoración de las pérdidas de aceite, sino adicionalmente la cuantificación de la incidencia de otros aspectos que determinan el potencial de aceite y sus variaciones. Los estudios se han desarrollado por secciones del proceso, según sea el requerimiento o el factor a estudiar.

A continuación se presentan los resultados más sobresalientes de estudios realizados por Cenipalma y aplicados en el sector para el mejoramiento de la productividad de la agroindustria, en cada una de las etapas estudiadas.

En la Figura 4 se muestran todas las etapas que han sido estudiadas con el propósito de generar incremento en la eficiencia global del proceso por reducción y control de pérdidas.

Recepción de racimos

En esta sección se ha estudiado el potencial de aceite en racimos, teniendo en cuenta que variaciones en éste pueden generar cambios y fluctuaciones importantes en la tasa de extracción de aceite.

Al respecto, se inició con el diseño de una metodología rápida de análisis de potencial de aceite en racimos (Yáñez *et al.*, 2000), con el fin de evaluar las fluctuaciones en el contenido de aceite y la incidencia de sus componentes en el potencial final en planta de beneficio.

De igual manera, ha permitido evaluar la incidencia de enfermedades del cultivo de la

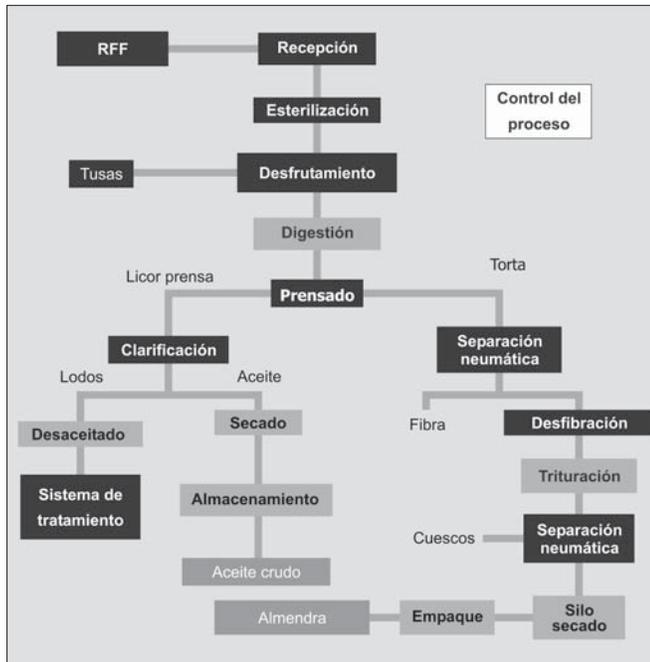


Figura 4 Etapas del proceso de extracción donde se han realizado mejoramientos e incremento de eficiencia

palma de aceite sobre el potencial como la Pudrición de Cogollo (Acevedo *et al.*, 2000) y el *imatidium* (estudios Cenipalma, 2002), los cuales se ha demostrado pueden alcanzar reducciones en el potencial de los racimos en máximo grado de afección de hasta cinco unidades porcentuales de aceite/RFF en el primer caso y de 1,1 unidades para el segundo.

De otro lado, se ha encontrado que la calidad de los racimos evaluada por maduración en tolvá, puede reducir el potencial de aceite en 2,2 unidades porcentuales de aceite/RFF, según estudios desarrollados por Cenipalma en 2001-2002. Estas variaciones en la calidad de los racimos pueden representar reducciones importantes en la tasa de extracción de aceite en planta reduciendo el margen de utilidad con bajos niveles de eficiencia.

De otro lado, se han realizado evaluaciones de pérdidas de aceite en campo, representadas por el fruto suelto dejado en campo por problemas en la cosecha y labores posteriores a la misma. Este trabajo demostró reducciones en el potencial de aceite cercanas a 0,8 unidades porcentuales de aceite/RFF (*upar*) (Cárdenas *et al.*, 2002). Así

mismo, se determinó la reducción del potencial por la presencia de impurezas de alrededor 0,5 *upar* y la pérdida en patio por fruto en el patio de tolvá cercana al 0,2 *upar*.

En los temas anteriores se han evaluado también potenciales de aceite por materiales y edades de siembra de palma, para identificar su incidencia en el promedio ponderado real que ingresa a la planta de beneficio. Los anteriores aspectos, luego de ser identificados, permiten generar políticas en las empresas palmicultoras para el mejoramiento de su productividad, teniendo en cuenta que aspectos como la calidad de fruto -que depende sólo de buenas prácticas en la cosecha- incidan en tan importante valor sobre el potencial real en planta.

Esterilización y desfrutado

La pérdida de aceite por impregnación en tusas es la mayor producida en el proceso de extracción, representando alrededor del 40% de la pérdida total en planta. Las etapas de esterilización y desfrutado son las secciones donde se genera la impregnación de las tusas, razón por la cual varios estudios se han centrado en estos procesos para identificar los factores que determinan la impregnación. Yáñez *et al.*, (2000) identificaron la secuencia en la impregnación de aceite en tusas durante los procesos de esterilización y desfrutado, mostrando que entre 45 y 75% de la impregnación se genera durante el desfrutado.

De otro lado (Fernández, 1999), se encontró que una extensión en el tiempo de sostenimiento hasta 60 minutos y un incremento en el grado de maduración, incrementan estadísticamente la pérdida por impregnación de aceite en tusas. Así mismo, se encontró que la presión del vapor en el tercer pico del ciclo de esterilización, es el de mayor incidencia sobre el fruto adherido e impregnación. Estos aspectos han permitido ajustar los ciclos de esterilización en valores de tiempo y presión que permitan reducir la pérdida por impregnación durante la esterilización de los racimos de palma de aceite.

De otro lado, buscando un método alternativo de esterilización, se evaluó la evacuación del vapor por la parte inferior de los autoclaves, permitiendo una reducción en la impregnación de 0,2 *upar* (Yáñez *et al.*, 2001).

Con relación al desfrutado, se evaluaron varios factores que afectan la pérdida por impregnación en la sección de mayor incidencia, como son la dosificación de racimos, procesamiento con fruto suelto separado, capacidad de procesamiento, altura de llenado en vagonetas y algunas variables fisiológicas del racimo.

Estos aspectos permitieron de manera global encontrar una reducción por aplicación parcial de los tratamientos de 0,36 *upar* al final del desfrutado (García *et al.*, 2003).

Todos los aspectos mencionados han permitido para la Zona Central colombiana reducir la pérdida por impregnación de aceite en tusas en 0,23 *upar*, que representan para la zona una recuperación aproximada de 350 mil dólares en cinco años de trabajo para una zona que procesó en el 2002, 610 mil toneladas de racimos de palma de aceite.

Prensado

Esta es una etapa que por sus características mecánicas e importancia dentro del proceso, es la de mejor control, razón por la cual su nivel de pérdidas está por debajo de las tusas y efluentes líquidos.

Sin embargo, se ha desarrollado un sistema de automatización con el fin de permitir una regulación más apropiada del sistema hidráulico y además posibilitar la optimización del proceso por determinación del punto óptimo de prensado (Hernández *et al.*, 2003). Este proceso está basado en la determinación del *set point* del control automático por amperaje del motor de la prensa, teniendo en cuenta la pérdida de aceite en fibra y el rompimiento de almendra, causante principal de la mayor pérdida de almendra en el proceso. Este trabajo permite estimar el costo de la pérdida conjunta de aceite y almendra, encontrando un óptimo que tenga en cuenta las dos pérdidas al mismo tiempo.

Clarificación y centrifugado

Dada la complejidad de esta etapa, se han realizado varios estudios tendientes a identificar los mecanismos que rigen el proceso de clarificación y centrifugado. Es así como se han realizado análisis estadísticos de las variables que intervienen en el proceso de clarificación

(García *et al.*, 2000), encontrando la incidencia significativa de los lodos livianos en el comportamiento del clarificador y las pérdidas de aceite en la descarga de la centrífuga.

De otro lado, se ha identificado el comportamiento de las capas de aceite y lodos dentro de clarificadores horizontales y verticales (Castellanos *et al.*, 2001 y Hernández *et al.*, 2001), estableciendo la influencia de las purgas no conocidas sobre la operación del clarificador y deficiencias tanto en el gradiente de temperatura dentro del clarificador como en la continuidad del proceso.

Además, se evaluó la aplicación de la agitación lenta en la clarificación (Jerez *et al.*, 2000), con lo que se logró reducir el contenido volumétrico de aceite en la salida de lodos de clarificación hasta 4% y el caudal de lodos para centrifugar, estableciendo una relación óptima de aceite-agua en el licor de prensas.

En el entendimiento del proceso de separación de aceite durante la clarificación, se han realizado estudios de formación de capa de aceite, determinando la velocidad de separación y la eficiencia de recuperación de aceite, simulando el proceso a escala de laboratorio.

Estos estudios han sido base de trabajos posteriores de evaluación de nuevas tecnologías, que actualmente Cenipalma desarrolla en la búsqueda de procesos de clarificación más eficientes y rentables.

Recuperación de almendra

El proceso de recuperación de almendra en las plantas de beneficio ha sido olvidado y ha retomado importancia debido a los precios de este producto y el requerimiento para obtener mayores márgenes de rentabilidad en las plantas de beneficio.

Con este contexto se desarrolló una metodología análoga para el balance de aceite, con el fin de cuantificar las pérdidas de almendra en el proceso en las mismas unidades de eficiencia de recuperación de almendra (Durán *et al.*, 2000). Esto permitió no sólo cuantificar las pérdidas totales en el proceso y poder comparar procesos y equipos, sino adicionalmente, establecer el punto de mayor pérdida consolidado en la

columna de separación de fibra. La transferencia para las plantas de beneficio de estas metodologías ha permitido entregar una herramienta de evaluación y comparación, que permite optimizar sus procesos por modificación de equipos o prácticas operativas hacia una mayor eficiencia global del proceso. En la actualidad se desarrollan estudios para establecer las condiciones dinámicas de separación en las columnas neumáticas empleadas en el proceso de recuperación de almendra.

Control de proceso

Este ítem es una de las mayores herramientas dentro de un proceso productivo. Cuando se tienen identificados los parámetros y métodos de operación óptimos dentro del proceso, el paso a seguir es definir un buen control de proceso referente a mantener de manera continua las condiciones fijadas dentro del proceso óptimo estudiado. Lo anterior implica no sólo un estudio de variables involucradas para definir el proceso a seguir, sino adicionalmente una estandarización de los métodos utilizados para controlar esas variables de proceso.

Al respecto, Cenipalma ha contribuido en la elaboración y utilización de un Manual de laboratorio, que permite estandarizar equipos y procedimientos empleados para el control de proceso en planta. De otro lado, se evalúan nuevas técnicas de análisis rápido de contenido de aceite en laboratorio para disponer de la información a tiempo del proceso y realizar un control efectivo en tiempo real.

Seguimiento y referenciación competitiva

Este proceso de referenciación ha sido iniciado con el apoyo de los comités asesores regionales, estableciendo nuevas herramientas como el uso de la página web de Cenipalma, donde puede consultarse el comportamiento histórico de eficiencias del proceso de extracción de aceite en la mayoría de las plantas de beneficio del país. Lo anterior ha permitido generar gráficos de comportamiento de la eficiencia del proceso nacional como se aprecia en la Figura 5.

En este tipo de gráficos se maneja el comportamiento de los últimos doce meses a escala nacional, regional e individualmente por planta. Este es el caso de la Figura 6 donde se presenta el comportamiento de una zona específica y su referencia nacional para tasa de extracción y pérdidas de aceite.

Impacto económico

Para medir el impacto económico de la utilización de los balances de pérdidas y de los proyectos desarrollados con base en esta metodología, basta tomar como referencia la Zona Central colombiana, donde se desarrolló esta herramienta.

A mediados de 1997 se dio inicio a los trabajos de desarrollo y utilización de los balances de pérdidas de aceite en planta teniendo una referencia inicial del nivel de eficiencia en planta, el cual ha sido reevaluado con el tiempo hasta hoy. Los cambios se presentan en la Tabla 2.

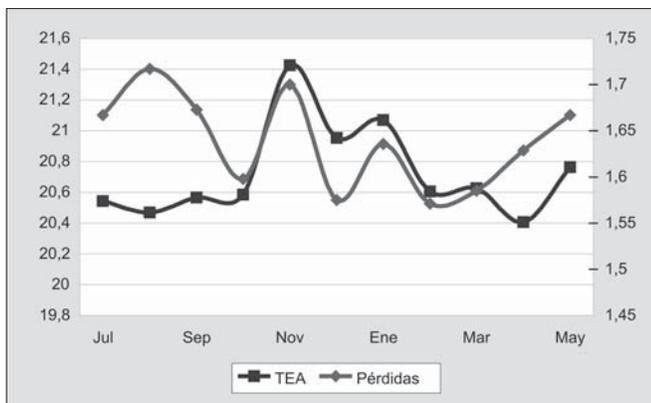


Figura 5 Comportamiento de la tasa de extracción y pérdidas de aceite en Colombia

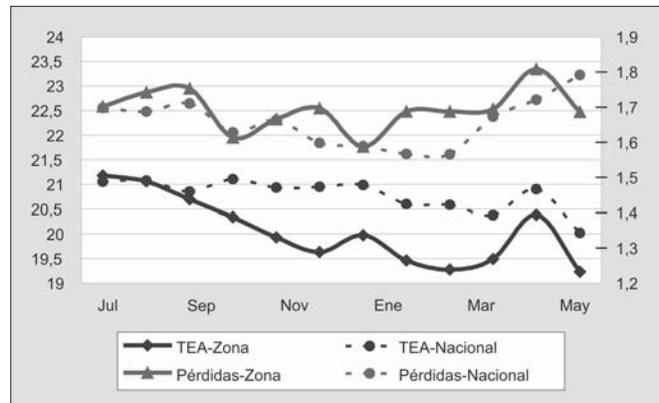


Figura 6 Referenciación de la TEA y pérdidas regionales con el comportamiento nacional

Tabla 2 Impacto económico de la reducción de pérdidas de aceite en la Zona Central colombiana

Ítem	% Aceite/RFF (1997)	% Aceite/RFF (2002)	% Aceite/RFF Cambio	Recuperado (US\$)
Tusas	0,86	0,63	0,23	350.980
Fibra	0,54	0,51	0,03	45.780
Efluentes	0,53	0,49	0,04	61.040
Nuez	0,15	0,07	0,08	122.080
Total	2,09	1,7	0,39	595.140

Tabla 3 Potencial de reducción de pérdidas de aceite en planta a escala nacional

Ítem	Actual (e)	Reducción estimada
Fruto procesado en el 2002 (t RFF)	938.100	2.464.727
Pérdidas totales de aceite (% ac/RFF)	1,88 a 2001	2,00
Meta en pérdidas de aceite (% ac/RFF)	1,77 a 2002	1,70
Recuperación de aceite (% ac/RFF)	0,11	0,30
Aceite recuperado (t)	1.032	7.394
Ganancia (en miles US\$)	552	3.961

Tabla 4 Potencial nacional de reducción de pérdidas de almendra en planta

Ítem	Actual (e)	Reducción estimada
Fruto procesado en el 2002 (t RFF)	607.463	2.464.727
Pérdidas totales de almendra en 2001 (% ac/RFF)	0,92	1,5
Pérdidas totales de almendra en 2002 (% ac/RFF)	0,81	0,50
Recuperación de almendra (% ac/RFF)	0,11	1,00
Almendra recuperada (t)	668	24.647
Ganancia (miles de US\$)	71	2.600

Sin embargo, un estimado nacional de reducción de pérdidas de aceite empleando un promedio inicial conservador (2% aceite/RFF) y estableciendo una meta de pérdidas de 1,7% aceite/RFF, es posible determinar el potencial de reducción de aceite como se presenta en la Tabla 3.

De la misma forma para las pérdidas de almendra en el proceso y teniendo en cuenta que el

cubrimiento nacional en este aspecto es muy inferior al de aceite, se muestra la Tabla 4, con el potencial nacional de reducción.

Lo anterior muestra que el potencial de reducción de pérdidas e incremento de eficiencia del proceso está cercano a los 6 millones de dólares en el orden nacional, por control y optimización del proceso de extracción de aceite y recuperación de almendra.

Perspectivas

Basándose en el trabajo desarrollado y en el potencial marcado en el impacto económico, las perspectivas de trabajo son claras en el ámbito gremial. En primer lugar el incremento en la cobertura de los balances de pérdida de aceite y almendra con el cual se pueda iniciar un proceso formal de *Benchmarking*.

Luego de estandarizar los procesos y sus parámetros de control es necesario poner en marcha un proceso de automatización y control en las plantas de beneficio, no sólo para asegurar la realización permanente de los procedimientos establecidos, sino también para realizar un monitoreo de las variables más importantes del proceso con el cual se puedan establecer verdaderos lazos de control. ☼

Bibliografía

- ACEVEDO, N.; GARCÍA, J.; BURITICÁ, P. 2000. Influencia de los diferentes estados de la pudrición de cogollo en la tasa de extracción de aceite de palma. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (tesis de grado).
- ALDANA, J.; AYALA, I. 2002. Reducción del potencial de aceite en racimos por daño de imatidium. Estudios Cenipalma sin publicar.
- CÁRDENAS, L.; PADILLA, P.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2002. Descripción e identificación de puntos críticos en el proceso de poscosecha de fruto, con énfasis en las pérdidas de aceite. Universidad de la Paz. Barrancabermeja (tesis de grado).
- CASTELLANOS, S.; GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E. 2001. Funcionamiento de los separadores estáticos horizontales de aceite crudo de palma. Ceniavances no. 82.
- CENIPALMA. 1997. Diagnóstico tecnológico de plantas de beneficio.
- DURÁN, Q.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2000. Evaluación del proceso de recuperación de almendra. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.

- DURÁN, Q.; GARCÍA, J. 2002. Potencial de aceite en racimos de diferente calidad por maduración. Estudios Cenipalma sin publicar.
- FERNÁNDEZ, C.; GARCÍA, J. 1999. Estudio de ciclos de esterilización de racimos de palma africana de aceite, durante el proceso de extracción en la planta de Agroince. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (tesis de grado).
- GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E.; RODRÍGUEZ, N. 2000. Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas norte y central. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.
- GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E.; SIERRA, G. 2003. Factores que afectan la pérdida de aceite impregnado en tusas en plantas de beneficio de palma de aceite. Palmas, v.24 no. 1.
- HERNÁNDEZ, C.; RAMÍREZ, N.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2001. 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. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja (tesis de grado).
- GARCÍA, J.; CADENA, O.; RODRÍGUEZ, N. 2000. Influencia de las diferentes fases (aceite-agua-lodos) en el comportamiento de la clarificación. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.
- HERNÁNDEZ, C.; YÁÑEZ, E. 2003. Optimización del prensado por control de pérdidas de aceite y almendra. Estudios Cenipalma sin publicar.
- JEREZ, J.; MOLINA, D.; GARCÍA, J. 2000. Clarificación con agitación lenta: Experiencias y resultados. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.
- CENIPALMA. 2001. Manual de laboratorio de plantas de beneficio.
- YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J.; AMAYA, S. 2000. Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.
- YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J.; FUENTES, L. 2000. Impregnación de aceite en los racimos vacíos durante la esterilización y el desfrutado. Palmas, v.21 no. Especial Tomo 1.
- YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J.; GRANADOS, F. 2001. Operación alterna en esterilización para la reducción de pérdidas de aceite impregnado en tusas. Ceniavances no. 89.