

Condiciones de esterilización para racimos de fruta de palma desgarrados

Conditions of sterilization for ripped palm fruit bunches

Autores

Lina Martínez
Oscar Mauricio Díaz
Jesús Alberto García



Palabras clave

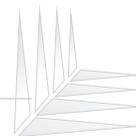
Extracción
Aceite de Palma
pérdidas de aceite

Extraction, oil palm,
oil losses

Recibido: 20 julio 2011
Aprobado: 19 septiembre 2011

Resumen

Dadas las diferencias físicas de los racimos de palma al ser desgarrados, con respecto a los racimos de fruta fresca (RFF) enteros, su procesamiento requiere condiciones operativas diferentes, inicialmente en la etapa de esterilización. Por lo anterior, a escala piloto se realizaron ensayos para determinar el ciclo de esterilización más adecuado para estas nuevas condiciones de materia prima. Se evaluaron ciclos de esterilización a presión constante (sin picos), para varios niveles bajo un diseño experimental al azar en un arreglo factorial. Las variables consideradas como criterio de evaluación fueron: contenido de aceite en condensados, impregnación de aceite en tusa, desfrutado y humedad en mesocarpio y almendra. Se estableció un ciclo de esterilización para los racimos de fruta de palma desgarrados en el que se reduce 28,5% del tiempo de operación en la etapa de esterilización; 26,4% el consumo de vapor en la misma etapa; 69,71% en las pérdidas de aceite por condensados y 38,33% en las pérdidas de aceite en tusa, cumpliendo con los objetivos de la esterilización. Estas mejoras implican beneficios operativos y financieros al reducir hasta en un 0,31% los costos de extracción por tonelada de aceite crudo. En pruebas a escala industrial se determinó que la calidad del aceite de palma se ve afectada por un incremento en los ácidos grasos libres (AGL) del aceite proveniente de los racimos desgarrados, este efecto se debe al maltrato sufrido por los racimos al ser impactados por la máquina.



Abstract

Given the physical differences of the ripped palm fruit bunches, with respect to fresh fruit bunches (FFB); their milling requires different operating conditions, initially in the sterilization stage. Therefore, pilot scale tests were made to determine the most appropriate sterilization cycle for these new type of raw material. Sterilization cycles at constant pressure were evaluated (without peaks), for various levels under a randomized experimental design, in a factorial arrangement. The variables considered as evaluation criteria were: oil content in condensates, oil content in EFB, stripping, and mesocarp and kernel humidity. It was established a sterilization cycle for the ripped palm fruit bunches which reduces 28.5% of operating time at the stage of sterilization, 26.4% steam consumption, 69.71% in the losses of oil because of condensates and 38.33% in the oil losses in EFB, fulfilling the objectives of sterilization. These improvements mean financial and operational benefits by reducing up to 0.31% extraction costs per ton of crude oil. In industrial scale tests, it was determined that the quality of palm oil is affected by an increase in free fatty acids (FFA) of oil from the ripped bunches, this effect is due to the hits performed by the machine over the bunches.



Introducción

La esterilización es la primera etapa del proceso de beneficio de fruta de palma que se realiza por lotes. Tradicionalmente, el proceso se opera mediante ciclos, variaciones de presión de vapor, hasta 45 psig, con expansiones intermedias durante 90 min. Los ciclos de esterilización aplicados en las plantas de beneficio generan inconvenientes en la continuidad del proceso que reducen la capacidad de procesamiento y elevan los costos. Este proceso requiere grandes cantidades de energía expresadas en consumo de vapor (250 kg vapor/t RFF) debido a la conformación del racimo para penetrar y permitir el desprendimiento de los frutos que contienen el aceite, generando a su vez efluentes producto de la condensación. Por otra parte, la mayor pérdida de aceite en el proceso ocurre mediante la impreg-

nación del raquis durante la esterilización y desfrutado, que corresponde a 33% del total de pérdidas en el proceso. Esta pérdida se controla únicamente evitando el intercambio de aceite por contacto de los racimos esterilizados al interior del desfrutador. Asimismo, los condensados generados en la esterilización aportan el 34% del flujo del efluente final de la planta y de igual forma a la pérdida global en el proceso, Díaz et ál, 2007.

El desarrollo de la esterilización continua, fundamentada en la modificación física de los racimos para incrementar el área de transferencia de calor, del vapor al racimo, demostró el aumento de la eficiencia del proceso disminuyendo la presión de 45 psi a presión atmosférica y el tiempo de proceso de 70-80 minutos a 60 minutos (Sivashoty, 2006).

A su vez, Díaz et ál, 2007, mostraron la viabilidad de procesar espigas y frutos (desespigado de racimos) aplicando ciclos de esterilización con presión constante sin picos.

Una de las alternativas de modificación física de racimos de fruto de palma es el desgarrado, fraccionamiento mediante un sistema de dos tambores dentados que giran en sentidos opuestos; lo que conlleva cambios en las condiciones de procesamiento en la planta de beneficio, siendo la esterilización la primera etapa a considerar. El objetivo principal de este proyecto fue determinar el mejor ciclo de esterilización para los racimos de palma desgarrados, teniendo como premisa cumplir con los objetivos de esterilización, dado que de ésta depende en alto grado la digestión-prensado, la acidez del aceite y la etapa de palmistería, teniendo en cuenta la deshidratación sufrida por la almendra. Todas estas variables, de forma directa o indirecta, se evaluaron en este estudio.

Materiales y métodos

Este trabajo se ejecutó en su totalidad en la planta de beneficio Aceites S.A. ubicada en el municipio de El Retén (Magdalena), en la Zona Norte palmera colombiana. Para su desarrollo, el proyecto contó con dos etapas: determinación de condiciones de esterilización a escala piloto y el escalado de resultados a la planta de beneficio.

Determinación de ciclo de esterilización - escala piloto

Para las pruebas a escala piloto se hizo uso de un esterilizador a escala, ver Figura 1, adquirido por Cenipalma, durante el proyecto Desespigado-Colciencias en el 2006, construido por industrias AVM, cuyas características se describen en la Tabla 1. El vapor alimentado al equipo provino del distribuidor de vapor que lleva el servicio a toda la planta.

Con base en información proporcionada por pruebas preliminares se seleccionaron ciclos de esterilización con desaireado y presión constante durante un período de tiempo, para cada tratamiento. Los tratamientos se integraron en un diseño factorial 3², distribuidos completamente al azar, con tres niveles de presión y tiempo. Lo anterior generó nueve tratamientos o ciclos de esterilización de los cuales se realizaron siete repeticiones para

un total de 63 ensayos. En la Tabla 2 se muestran los niveles considerados para la variable presión y tiempo.



Figura 1. Esterilizador a escala.

Tabla 1. Características generales

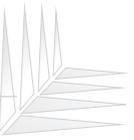
Esterilizador piloto	
Diámetro(m)	0,95
Longitud(m)	3,3
Instrumentación	Manómetro 0-120 psig
Capacidad bache	200 Kg

Las variables evaluadas fueron:

- Contenido de aceite en condensados (%Ac/RFF).
- Impregnación de aceite en tusa (%Ac/RFF).
- Volumen de condensados (m³/RFF).
- Consumo de vapor, determinado a partir de la formación de condensados.
- Eficiencia desfrutado, se determinó un índice de desfrutado teniendo en cuenta la pérdida de peso del racimo al ser golpeado tres veces dejándolo caer desde una altura de 2,1 m, que es la altura promedio de caída en el desfrutador de la planta.
- Humedad en mesocarpio y almendra.

Tabla 2. Diseño de tratamientos factorial al azar 3² para la evaluación de las variables tiempo y presión durante la esterilización de racimos desgarrados.

Factor Nivel	Presión (psig)	Tiempo (mín)
1	20	30
2	25	40
3	30	50



Los datos obtenidos se analizaron utilizando los procedimientos GLM y NPAR1WAY de la versión 9,1 de SAS. Una vez realizado el análisis de varianza y con el propósito de comparar los niveles de cada factor, se realizaron pruebas de Tukey tanto paramétricas como no paramétricas para las variables que no cumplieron con el supuesto de normalidad.

Como hipótesis nula se tomó el hecho de que los tratamientos evaluados generan menores pérdidas por impregnación en tusa y condensados, al contrastar los valores con los reportes históricos de la planta. Las otras variables evaluadas se tomaron en cuenta con el fin de corroborar que se cumplieran los objetivos de la esterilización.

Pruebas a escala industrial con racimos desgarrados

Con el fin de escalar los resultados obtenidos en el equipo piloto y tener una aproximación al comportamiento operativo en la planta de beneficio, se realizaron pruebas con fruto desgarrado, 17,5 t RFF correspondientes a un bache de esterilización, aplicando los mejores ciclos de esterilización determinados en la etapa anterior del proyecto. En total se realizaron seis pruebas y tres repeticiones para cada uno de los ciclos. Además de la etapa de esterilización, se consideró desfrutado y digestión-prensado con el fin de conocer los efectos de los ciclos sobre la continuidad del proceso.

La aplicación a escala industrial de los resultados se realizó con base en un estudio de tiempos y movimientos, con el fin de no generar paradas en la planta para la toma de muestras correspondientes al bache cocinado de fruta desgarrada. De esta forma se

definieron los tiempos de muestreo de las corrientes implicadas en la evaluación, especialmente en la etapa de digestión-prensado.

En términos generales, los equipos se operaron bajo las condiciones normales de la planta; sin embargo, los digestores se operaron a $\frac{3}{4}$ de su capacidad total, teniendo en cuenta que se sobrecargaba el motor de las paletas de agitación al trabajar con carga completa debido a trozos de espigas y pedúnculo que arrastra la corriente de fruto suelto al ser desgarrados los racimos.

Las variables evaluadas fueron:

- Pérdida de aceite en fibra
- Porcentaje de nueces rotas
- Porcentaje de aceite en el licor de prensa
- Porcentaje de acidez del aceite
- Impregnación en tusa
- Pérdida de aceite en condensados

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos bajo la metodología planteada para el desarrollo del proyecto a escala piloto inicialmente y, luego, los resultados de las pruebas a escala industrial, fueron:

Determinación de ciclo de esterilización a escala piloto

• Volumen de Condensados Generado (m³/RFF)
El comportamiento de la formación de condensados con racimos desgarrados no difirió con respecto al ciclo tradicional, observándose dos cambios de pendiente; el primero, a mediados del desaireado; y el segundo, minutos después de haber alcanzado la presión de sostenimiento como se ve en la Figura 2.

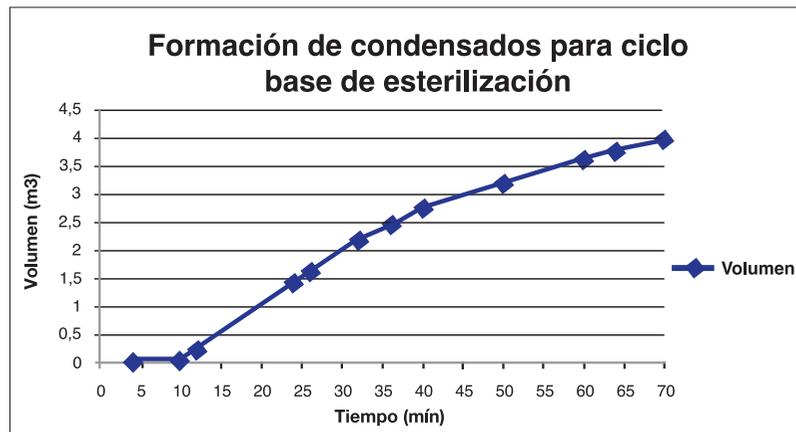


Figura 2. Formación de condensados para ciclo base de esterilización

La mayor formación de condensados se presentó durante el ascenso de presión debido al intercambio de calor entre el vapor saturado entrante y los racimos. Durante el sostenimiento, la formación de condensados disminuyó; sin embargo, representó un aporte considerable para el volumen de condensados durante el ciclo de esterilización.

A diferencia de la formación de condensados para racimos enteros se observaron condensados durante el tiempo de desaireado, debido a que el área para la transferencia de calor aumentó y la penetración del vapor fue más rápida; por lo cual se considera que para trabajar con racimos desgarrados se puede disminuir el tiempo de desaireado.

En el caso del volumen de condensados, no se apreció un efecto significativo de la interacción de los factores ($p > 0,05$); sin embargo, existió efecto del factor presión y tiempo de forma independiente (Figuras 3 y 4), por lo tanto se realizaron pruebas de comparación para estos.

La comparación de medias respecto a la presión mostró que hay diferencias estadísticamente significativas entre la formación de condensados a 30 psig, el cual reporta el promedio más alto de volumen de condensados, con respecto a 25 y 20 psig, que no poseen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Además, se observó una tendencia creciente a mayor generación de condensados para niveles de

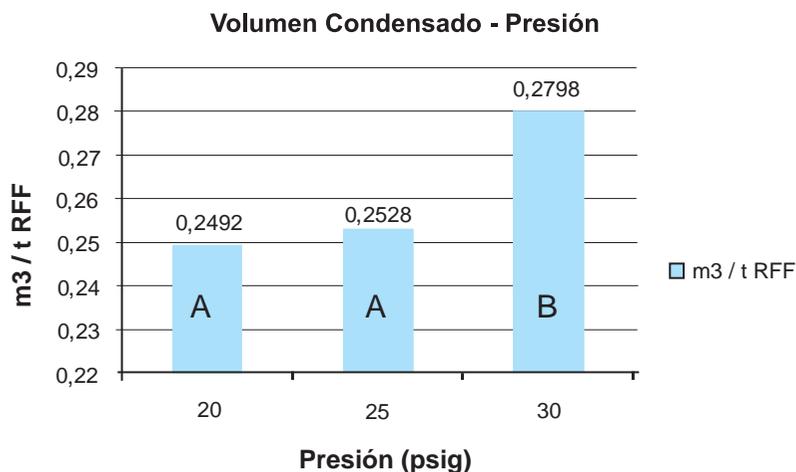


Figura 3. Diferencia de medias (Tukey - HSD) para el volumen de condensados de acuerdo con factor presión.

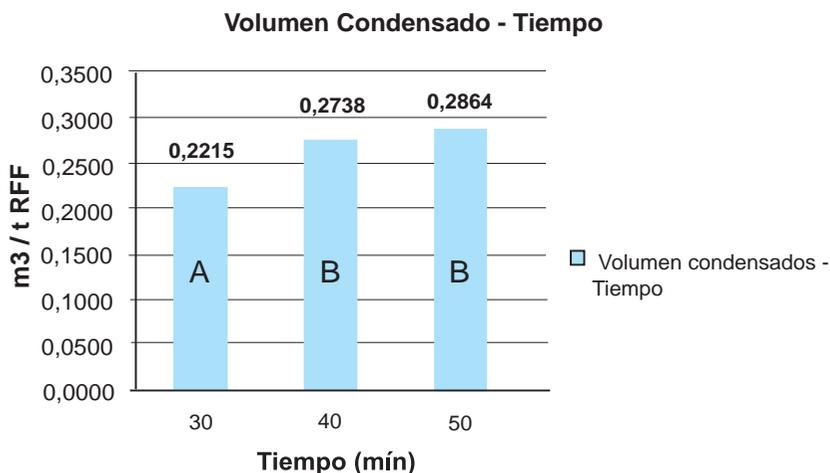
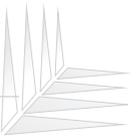


Figura 4. Diferencia de medias (Tukey - HSD) para el volumen de condensados de acuerdo con el tiempo.



presión más altos. En la Figura 4, se muestra el análisis estadístico del volumen de condensado respecto al tiempo del ciclo de esterilización..

Con respecto al tiempo, hay diferencia entre las formaciones a los 30 min y los formados a 40 y 50 min, siendo la cantidad de condensados formados en 30 min 22% menor con respecto al de 50 min. Para los tiempos de 40 y 50 min no hay diferencias estadísticamente significativas.

La incidencia de la presión y el tiempo sobre la formación de condensados correspondió a la mayor cantidad de vapor entrante, cuyas diferencias fueron más notorias en los momentos de ascenso a los picos de sostenimientos, mientras el sistema no se encontró cercano a un equilibrio térmico.

Contenido de aceite en condensados (%Ac/RFF)

La pérdida de aceite en condensados para el esterilizador piloto fue una variable muy sensible debido a que las trazas de aceite fueron mínimas, incluso no se percibieron visualmente. A pesar de que los datos presentaron normalidad para realizar el análisis de varianza, los residuales de las varianzas no la presentaron, por lo que se realizó análisis no paramétrico (Tabla 3).

En este caso, el test de Tukey, muestra que hay diferencia entre el tratamiento que trabaja con presión de 30 psig por un tiempo de 50 min con respecto a los que trabajan con presiones y tiempos de 30 psig – 40

min, 25 psig – 30 min y 20 psig- 30 min. En términos generales se observó un efecto significativo del factor tiempo con diferencias entre los tratamientos evaluados a 30 min y los de 50 min (Figura 5).

Impregnación de aceite en tusa (%Ac/RFF)

Para el análisis de esta variable se empleó análisis estadístico no paramétrico (Test de Kruskal Wallis), al no presentar normalidad en los residuales de las varianzas (Tabla 4).

La pérdida de aceite por impregnación en tusa presentó diferencias significativas entre los tratamientos,

Tabla 3. Test de Kruskal Wallis para la pérdida de aceite en condensados.

Chi - cuadrado	18,5700
DF	8
Pr > Chi - cuadrado	0,0173

Tabla 4. Test de Kruskal Wallis para la pérdida de aceite en tusa.

Chi - cuadrado	16,6479
DF	8
Pr > Chi - cuadrado	0,0340

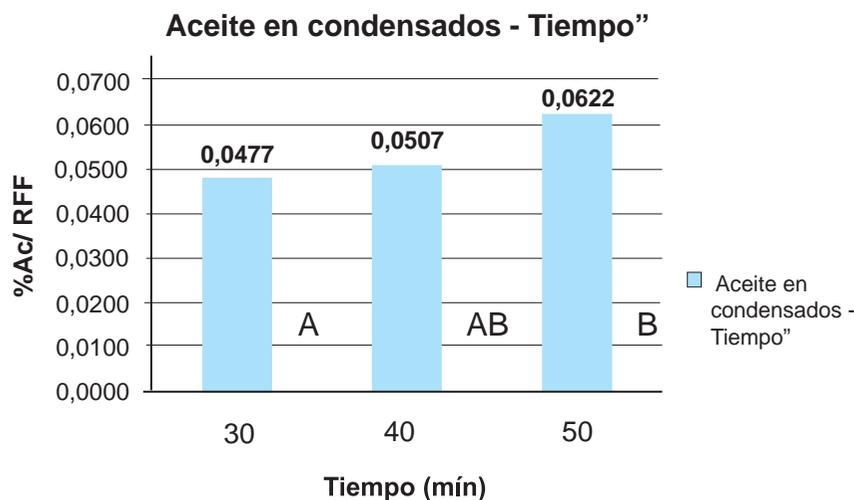


Figura 5. Diferencia de medias (Tukey – HSD) para pérdida de aceite en condensados de acuerdo con el tiempo.

siendo sensible ante los factores presión y tiempo.

En el caso de la presión se observaron dos grupos con diferencias estadísticamente significativas, en el grupo A se encontraron los tratamientos con presión de 25 psig, mientras que en el B las presiones de 20 y 30 psig. La pérdida por impregnación en tusa estuvo asociada al tiempo de esterilización y se encontraron dos grupos estadísticamente significativos, donde el primero y mayor fue el menor de los tiempos trabajados como se observa en las Figuras 6 y 7.

Se evidenciaron diferencias entre el tratamiento que trabajó con presión de 30 psig y 40 min con respecto al de 25 psig y 30 min.

Humedad mesocarpio y almendra e índice de desfrutación

La humedad que pierden el mesocarpio y la almendra debido a la transferencia de masa (agua) entre los frutos y el vapor saturado seco depende, en gran medida, de la variedad de fruta procesada. La humedad de la almendra se consideró como un indicador de deshidratación, la cual podría tener un efecto en la eficiencia de la recuperación de almendra en la palmistería.

El análisis estadístico para la humedad del mesocarpio se centró en la comparación respecto a la presión, teniendo en cuenta que solo este factor pre-

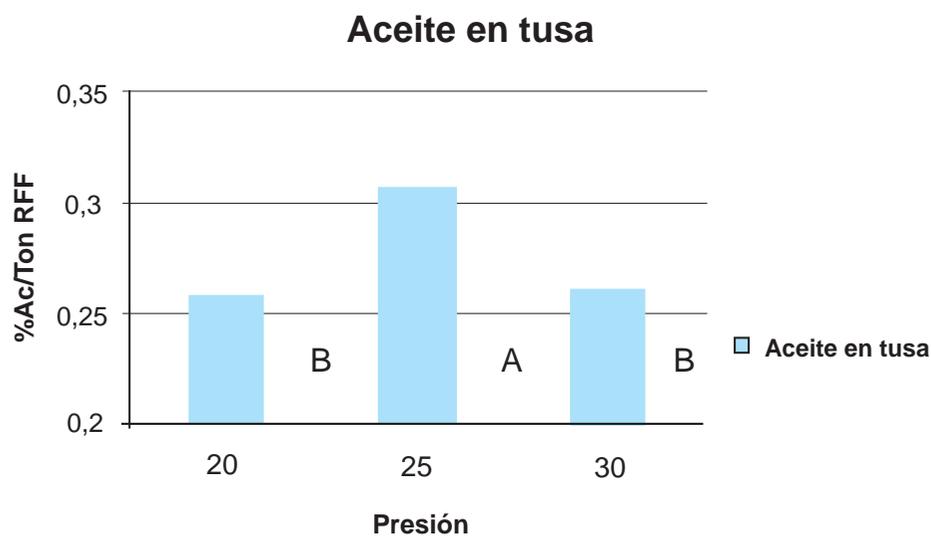


Figura 6. Diferencia de medias (Tukey – HSD) para pérdida de aceite en tusa de acuerdo con la presión.

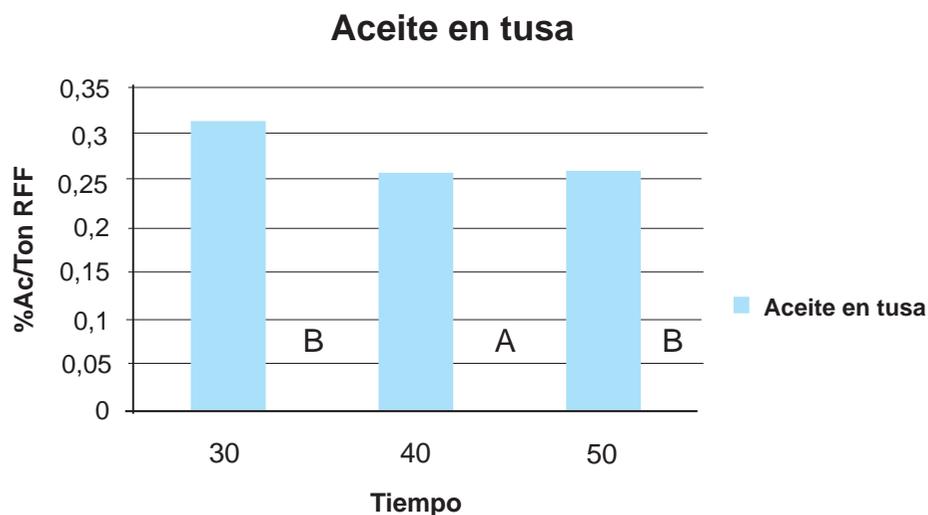
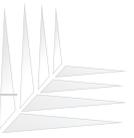


Figura 7. Diferencia de medias (Tukey – HSD) para pérdida de aceite en tusa de acuerdo con el tiempo.



sentó un efecto significativo sobre el porcentaje (%) de humedad en el mesocarpio. La comparación de medias (Test de Tukey) mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

En la humedad de la almendra no se apreció ningún tipo de efecto de los factores presión y tiempo, ni de la interacción. La humedad de la almendra para racimos desgarrados, tuvo efecto de otras variables que pueden opacar o que son más significativas que la presión y el tiempo de esterilización, bajo las condiciones evaluadas, como puede ser el tipo de fruta.

Sin embargo, en estudio realizado por Díaz et ál, 2007, se cita la Figura 8, en la cual se vio la tendencia de la coloración de la almendra, que mostró el comportamiento de la deshidratación, confirmando que se pudo lograr una adecuada deshidratación de la almendra a partir de ciclos de 20 psig durante 40 minutos.

El análisis estadístico realizado para el índice de desfrutado mostró que los factores presión y tiempo,

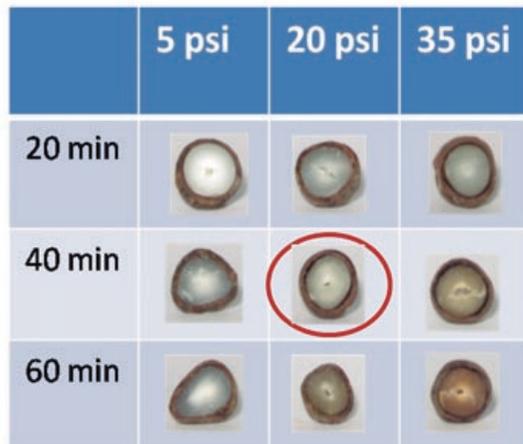


Figura 8. Coloración de la almendra para varios ciclos de esterilización a presión constante. (Fuente: Díaz et ál, 2007)

o la interacción de estos, no generan un efecto significativo. Resumiendo los resultados de cada una de las variables, se pudo ver que el efecto significativo que prima sobre las variables evaluadas fue la presión.

Pruebas a escala industrial

Los ciclos escalados a nivel industrial fueron el de 30 psig durante 40 min y 20 psig por 50 minutos. A continuación se describen los resultados a escala industrial, los datos se compararon con los indicadores

de producción reportados por el laboratorio de control de calidad de Aceites S.A.

Observaciones operativas

Para los dos ciclos de esterilización el comportamiento operativo tuvo diferencias con el proceso tradicional, algunas apreciaciones provenientes de observaciones se describen a continuación.

En la sección de desfrutado se presentó una acumulación de espigas en el tambor desfrutador que, con tiempos prolongados de procesamiento de racimos desespigados, requirió de labores de limpieza más frecuentes. El número de frutos adheridos en la tusa fue muy bajo respecto al proceso tradicional.

En la digestión-prensado se presentaron espigas y trozos de pedúnculo provenientes de la corriente de fruto suelto que salió del tambor desfrutado y que finalmente llegaron al digestor y a la prensa. Lo anterior generó dos efectos; en digestión provocó una mayor carga para el motor de agitación, por lo tanto se tuvo que procesar con los digestores a $\frac{3}{4}$ del llenado total, esto redujo el tiempo de residencia en digestión. Por otro lado, la capacidad de la prensa se redujo porque no procesó solo fruto suelto sino, además, un porcentaje de espigas y pedúnculo.

En la esterilización, la capacidad de las vagonetas al ser alimentadas con racimos enteros reportaron una capacidad promedio de 2,5 t RFF; al llenar las vagonetas con racimos desgarrados, debido a que el racimo se abre, disminuyó la capacidad promedio de las vagonetas en un 12%, hasta 2,2 t RFF.

Capacidad de esterilización, se refiere a los racimos de fruta esterilizada disponibles por hora en la planta de beneficio, su cálculo se realizó según la ecuación:

$$Ce = (A * V * CV * 60) / Tte$$

Ce: capacidad de esterilización

A: número de autoclaves

V: número de vagonetas cargadas por autoclave

CV: capacidad RFF por vagoneta

Tte; tiempo total de esterilización (incluye 10 min de tiempo de manipulación)

Teniendo en cuenta la anterior ecuación, se realizaron los cálculos de capacidad de esterilización para la planta de beneficio de Aceites S.A., la cual cuenta con cuatro autoclaves de siete vagonetas cada uno, considerando tres escenarios: la esterilización con racimos enteros bajo un ciclo tradicional (tres picos) y los

dos casos de ciclos de esterilización para racimos desgarrados (ciclo 1:30 psi - 40 min y ciclo 2:20 psi - 50 min) (Tabla 5).

Como se observa en la tabla anterior, el procesamiento de los racimos desgarrados bajo los ciclos de esterilización propuestos, permitió incrementar la capacidad de esterilización de la planta. Este incremento fue un 40,8% y 17,33%, para los ciclos 30 psi - 40 min y 20 psi - 50 min, respectivamente. Este incremento fue válido cuando se hizo un aprovechamiento incrementando la capacidad de prensado manteniendo un factor de esterilización de 1,33.

Consumo de vapor

El consumo de vapor se determinó a partir de las mediciones realizadas en el esterilizador piloto, considerando el siguiente balance de materia:

Vapor esterilizado = Vapor condensado + Vapor descargado

El vapor condensado fue medido para cada uno

de los ciclos de esterilización evaluados, utilizando un tanque de condensados, restando el volumen de agua proveniente de la deshidratación de los racimos esterilizados (10% del peso de los RFF).

El cálculo de las expansiones se realizó a partir del volumen del esterilizador piloto (2,34 m³), y considerando el volumen específico del vapor para las condiciones de presión de cada ciclo y las expansiones realizadas (Tabla 6).

En promedio, para los últimos cinco años, la planta extractora procesó 160.538 toneladas de RFF/año, utilizando a nivel industrial un promedio de 280 kg/t RFF, consumo que disminuiría en un 26,4% con la modificación de ciclo de acuerdo con el material trabajado, siendo aproximadamente 206 kg vapor/ t RFF.

Seguimiento a variables de proceso

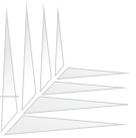
A continuación se describen los resultados obtenidos con las pruebas a escala industrial en las variables

Tabla 5. Capacidad de esterilización.

Ciclo esterilización	CV (RFF/Vagoneta)	Tte (min)	Ce (RFF/h)
RFF enteros (3 picos)	2,5	80	52,5
RFF desgarrados 30 psig 40 min	2,2	50	73,92
RFF desgarrados 20 psig 50 min	2,2	60	61,60

Tabla 6. Comparación de procesos de esterilización tradicional - desgarrado.

Variables evaluadas	Proceso tradicional	Racimos desgarrados	Diferencia	%
Tiempo de operación (min)	60	40	20	
Presión de sostenimiento (psig)	40	30	10	
Consumo de vapor (kg/t RFF)	232,853	171,377	61,476	26,40
Formación de condensados (m³/t RFF)	0,298	0,297	0,001	0,34
Pérdida de aceite en condensados (% Ac/RFF)	0,174	0,0527	0,121	69,71
Pérdida de aceite por impregnación en tusa (% Ac/RFF)	0,404	0,247	0,155	38,33



de proceso, los datos se compararon con los indicadores de producción reportados por el laboratorio de control de calidad de Aceites S.A.

El contenido de aceite en condensados, para racimos desgarrados, ciclo de 30 psi - 40 min, arrojó un valor promedio inferior respecto al reportado por el ciclo a presión constante 20 psi durante 50 minutos y al valor reportado por el laboratorio de Aceites S.A., como se observa en la Figura 9.

El ciclo de 20 psi a 50 min reporta el promedio más alto de impregnación en tusa, debido a la configuración física del racimo y al mayor tiempo de esterilización respecto al ciclo 30 psi 40 min. Este último no muestra diferencias considerables con lo reportado por el laboratorio para racimos enteros (Figura 10.)

La pérdida de aceite en fibra, evaluada para la

prensa número cinco, no mostró diferencias considerables entre los ciclos evaluados para racimos desgarrados y respecto a los reportes del laboratorio de Aceites S.A. como se aprecia en la Figura 11.

En cuanto a calidad de aceite, las pruebas con desgarrado mostraron valores de ácidos grasos libres (AGL) del aceite superiores a lo reportado por el proceso con racimos enteros, para el mes de julio, como se aprecia en la Figura 12.

Evaluación financiera

La evaluación financiera se hizo teniendo como base el estudio de actualización de costos de producción del aceite de palma, ejecutado por la firma Duarte Guterman & Cía. Ltda, contratado en el 2007 por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma); en el cual la recolección pri-

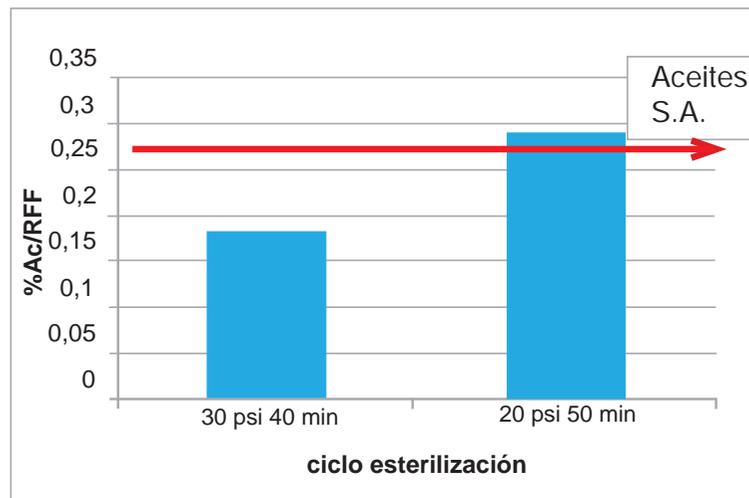


Figura 9. Pérdida de aceite en condensados. Escala industrial.

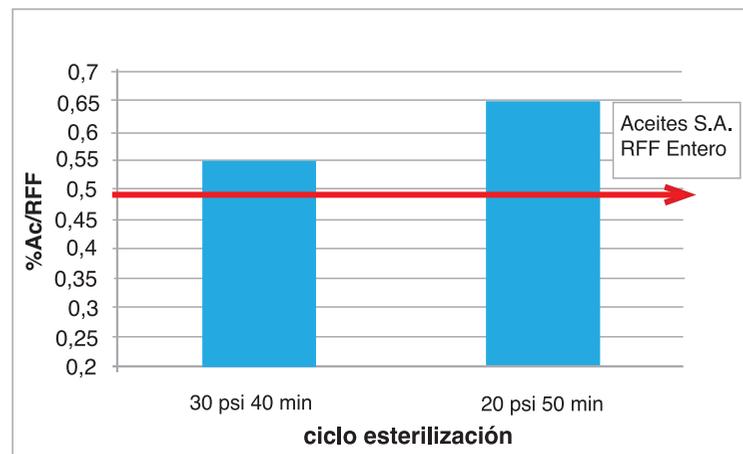


Figura 10. Pérdida de aceite en Tusa. Escala industrial.

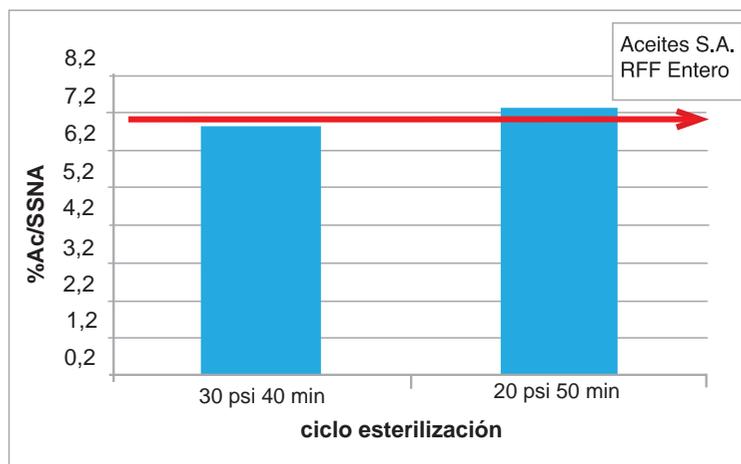


Figura 11. Impregnación en fibra a escala industrial.

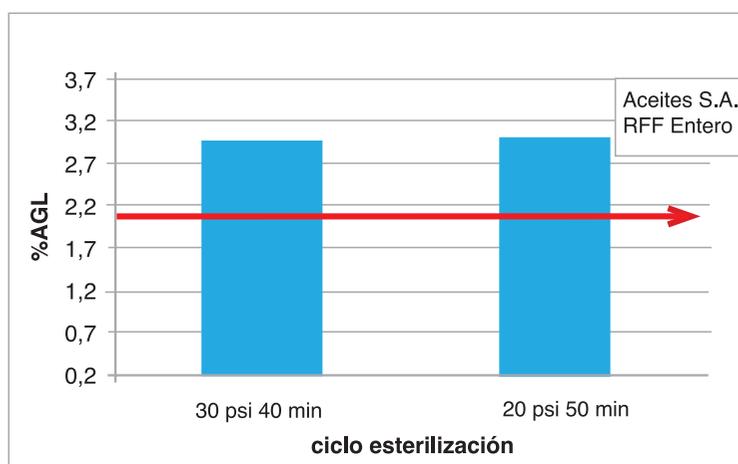


Figura 12. Acidez del aceite crudo de palma. Escala industrial.

maria de información se realizó mediante la aplicación de encuestas a una muestra de empresas del sector. Para este caso específico se tomó el promedio de plantas extractoras de la Zona Norte palmera, con capacidad de planta similar a la de la planta extractora Aceites S.A.

Los costos en planta de extracción se agruparon en dos grandes categorías: costo variable y de capital, expresados sin excepción por tonelada de aceite de palma.

Costos variables en planta de beneficio:

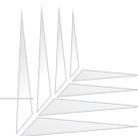
- Costo de mano de obra
- Costo combustible y energía
- Costo mantenimiento de equipos
- Costo administrativo / t reportado

Costos de capital en planta de beneficio

El costo de capital correspondió fundamentalmente a la inversión inicial en la planta de beneficio. Este costo se asimiló a la depreciación (equipo y maquinaria) o amortización, sin tener en cuenta el costo de oportunidad de la inversión y se expresó por tonelada de aceite.

Flujo de costo

El flujo de costo se presentó para un período de 25 años debido al tipo de inversión. Se consolidaron los costos de extracción descontando el crédito de la almendra. Se estimó el costo promedio de procesamiento en planta, sin tener en cuenta el costo del fruto, y a partir del coeficiente medio de extracción se calculó el costo de extracción de tonelada de aceite



crudo. Los costos de capital se estimaron a partir de la depreciación anual de los activos y por consiguiente no se tuvo en cuenta el costo de oportunidad de las inversiones, lo que subestimó los costos de producción.

En la Tabla 7 se presenta la composición de costos de producción de aceite, con una inversión inicial en equipos y maquinaria de \$ 24.416.500.000, generando un retorno del capital con interés del 5%; el valor del terreno es \$10.500.000 con interés de 5% para retorno de capital. Los valores encontrados en la tabla como costo total correspondieron a los valores presentes netos.

En la Tabla 8, los costos equivalentes a la evaluación de la segunda alternativa propuesta, mostraron un incremento en el costo de maquinaria, debido a que se incluyó una prensa y un digestor como conse-

cuencia del aumento en capacidad de esterilización; el costo de estos equipos fue de \$330.000.000, además se tuvo en cuenta la adquisición de cuatro desgarradores, cada una por un valor de \$31.000.000 (valores dados en planta), con el fin de que el tiempo transcurrido entre el desgarrado y la esterilización fuera muy corto y no afectara la acidez. No se tuvo en cuenta el aumento en la producción.

Este incremento en la capacidad de planta aumentó los costos de producción de aceite en un 0,71%; sin embargo, el consumo de vapor disminuyó en un 26,40%, por lo que se determinó el costo del kg de vapor, partiendo de costos de equipos registrados por (Peters et ál, 1991) por depreciación, los resultados se muestran en la Tabla 9.

Haciendo comparaciones entre los costos de pro-

Tabla 7. Costos de producción de aceite sistema tradicional (en miles).

Composición de costos de producción de aceite			
	Costo total	% Participación Costos	Costo/t
Costo maquinaria	39.124.024	55,54	126.002
Tierra	8.664	0,01	28
COSTO FIJO	39.132.688	55,55	126.030
Costos operación	13.885.043	19,71	44.718
Costo mantenimiento	10.853.510	15,41	34.955
COSTO VARIABLE	28.464.579	40,41	91.673
Administrativo	2.846.458	4,04	9.167
TOTAL ACEITE	70.443.725	100,00	226.870
Crédito almendra	-43.916.712		-141.438
TOTAL NETO	26.527.014		85.433

Tabla 8. Costos de producción de aceite con desgarrado.

Composición de costos de producción de aceite			
	Costo total	% Participación costos	Costo/t
Costo maquinaria	39.851.495	55,99	127.946
Tierra	8.664	0,01	28
COSTO FIJO	39.860.160	56,01	127.973
Costos operación	13.885.043	19,51	44.579
Costo mantenimiento	10.853.510	15,25	34.846
COSTO VARIABLE	28.464.579	39,99	91.387
Administrativo	2.846.458	4,00	9.139
TOTAL ACEITE	71.171.197	100,00	228.499
Crédito almendra	-43.916.712		-140.997
TOTAL NETO	27.254.485		87.502

Tabla 9. Costos de producción de vapor.

Composición de costos de producción vapor		
	Costo total	costo/ kg vapor
Fijos	7.925.372.290,00	
Variables	15.022.171.212,94	
Total	22.947.543.502,94	31,49518032

ducción de aceite utilizando el proceso tradicional y los mismos con el proceso con racimos desgarrados, teniendo en cuenta el ahorro en consumo de vapor sería:

- Proceso tradicional: \$226.870 Costo/t
- Proceso con desgarrado: \$226.170 Costo/t

Lo que implicaría un ahorro del 0,306%, que en un año equivaldría a \$373.382.491 procesando 160.538 t

Conclusiones y recomendaciones

La esterilización de racimos desgarrados no necesita ciclos con picos de presión debido a la mayor facilidad de penetración por parte del vapor hacia la totalidad de la masa. El ciclo que presenta las menores

pérdidas dentro de los tratamientos evaluados para la esterilización de racimos desgarrados es el que cuenta con un desaireado a 5 psig, sostenimiento a 30 psig por un total de 40 min; cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos de la esterilización.

El ciclo 30-40 de racimos desgarrados facilita la operación y reduce la formación de condensados en un 0,33%, las pérdidas de aceite en condensados en 69,71% y las pérdidas de aceite en tusa en 38,33%. Lo que implica una disminución en el consumo de vapor de 26,4% y aumenta la capacidad de esterilización 40,8%.

Se debe reducir el tiempo de espera de los racimos desgarrados antes de ser esterilizados para evitar el incremento de la acidez.

En términos financieros, el procesamiento de racimos desgarrados puede traer consigo una reducción de 0,306% en los costos de producción de tonelada de aceite crudo, debido al incremento en la capacidad de esterilización y ahorro en consumo de vapor del orden de \$226.170 costo/t.



Bibliografía

- Díaz, O; García, J; Prada, R. 2007. Evaluación a escala piloto de ciclos de esterilización con racimos de fruto palma desespigados. Ceniavances # 145.
- Fernández, C. Estudio de ciclos de esterilización de racimos de palma africana de aceite, durante el proceso de extracción en la planta de Agroince. Tesis- UIS. Bucaramanga.
- Martínez, L. 2009. Evaluación de alternativas para incrementar la eficiencia en la etapa de esterilización y desfrutado en el beneficio de la fruta de palma de aceite. Tesis – Universidad América.
- Prada, J.A. Esterilización. En: Algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma. 1993. Bucaramanga p 37-43.
- Sivasothy, K. 2006. Estado actual de la comercialización del proceso de esterilización continua. XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite.
- Peters; Max, S; Klaus, D. 1991. *Plant design and economics for chemical engineers*. Timmerhaus.4th ed.
- Duarte Guterman & Cia. Ltda. 2007. Actualización de los Costos de Producción de Aceite de Palma: Informe No. 4.