

Notas del Director

La necesidad de incrementar la competitividad del gremio palmicultor Colombiano lleva a investigar alternativas tecnológicas que permitan aumentar la productividad de los procesos, tanto en el campo como en la planta de beneficio. Esta búsqueda de alternativas se hace más fácil con el esfuerzo mancomunado entre Cenipalma y las plantaciones para generar alternativas de financiación. En este sentido, los resultados mostrados en este Ceniavances hacen parte de un proyecto de cofinanciación aprobado por Colciencias, en el cual Cenipalma es la entidad ejecutora y la planta de beneficio de Aceites S.A. es entidad beneficiaria. Este tipo de convenios desarrollados entre Colciencias, Cenipalma y las empresas palmeras son totalmente favorables teniendo en cuenta que las actividades desarrolladas permiten evaluar y determinar condiciones de operación económicamente más rentables y operativamente más eficientes. Por otro lado, los equipos desarrollados en este tipo de convenios, como es el caso del esterilizador piloto mostrado en este Ceniavances y conseguidos a través de este tipo de cofinanciación, entran a formar parte de elementos importantes para futuras actividades de investigación de Cenipalma.

Este proyecto, cofinanciado por Colciencias, busca el diseño y evaluación de una máquina-herramienta de desespigado y por consiguiente, el impacto del procesamiento de las espigas en la planta de beneficio. En ese sentido, en este Ceniavances se presentan los resultados parciales de esta investigación relacionados con la determinación de los ciclos de esterilización de espigas con fruto usando el esterilizador piloto obtenido a través de este proyecto.

Los resultados finales de este proyecto, de comprobarse su factibilidad tanto técnica como económica y financiera, cambiarían completamente tanto la forma de extracción de aceite como las relaciones entre el campo y la planta de beneficio.

José Ignacio Sanz
Director Ejecutivo

Evaluación a escala piloto de ciclos de esterilización con racimos de fruto de palma desespigados*



Introducción

En los últimos años, la tecnología utilizada en las plantas de beneficio para la extracción de aceite de palma mundial prácticamente no había sufrido cambios significativos hasta el desarrollo de la esterilización continua en Malasia. Estudios piloto y a escala de laboratorio (Sivasothy y Tan. 2006) demostraron la viabilidad técnica y económica de la esterilización continua de racimos de fruta de palma aplicando un único nivel de presión constante. Posteriormente, se construyó un sistema a escala comercial en el centro de tecnología de plantas de procesamiento de la palma (Pomtec) de la MPOB en Labu (Malasia). A la fecha, 16 plantas de beneficio están usando este nuevo proceso en Malasia y otras seis más están en construcción. El éxito de esta tecnología ha sido una menor presión de vapor usada dentro del autoclave, debido principalmente al desgarramiento que sufren los racimos, lo cual permite una mejor distribución del vapor dentro del esterilizador.

Existen dos fases del proceso de extracción del aceite crudo, cuya mejora tecnológica contribuiría enormemente a reforzar la competitividad del sector. En primer lugar, la

esterilización tradicional busca acelerar en el racimo el ablandamiento de la unión de los frutos que contienen el aceite con su soporte natural (espigas y pedúnculo, llamado tusa), de tal manera que el calentamiento se realiza tanto para el fruto como para la tusa. Lo anterior trae como consecuencia un consumo adicional de energía, largos tiempos de esterilización a causa de una pobre penetración de calor hacia los frutos interiores del racimo y una falta de precisión en el control de tiempo y temperatura con los cuales se inactiva la lipasa, responsable del deterioro de la calidad del aceite. De otro lado, los requerimientos mecánicos de los autoclaves (equipos donde se realiza la esterilización de los racimos) son altos así como sus dimensiones, teniendo en cuenta que se operan a presiones cercanas a los 50 psi. Estos equipos por sus requerimientos y condiciones de operación son trabajados en un proceso semi-continuo y altamente ineficiente desde el punto de vista energético, que genera el 32% del efluente líquido final del proceso con un alto contenido de aceite.

En segundo lugar, el desfrutado se realiza después de la esterilización con lo cual se busca el desprendimiento del fruto mediante golpes del racimo generados dentro de un tambor. El desprendimiento de los frutos ocurre gracias al efecto térmico y de hidrólisis generado en la etapa anterior. El manejo de los racimos en esta sección de desfrutado, así como la operación del equipo, generan un alto consumo energético dentro del proceso, cuya operación es crítica dada la característica dependiente en línea de las etapas.

Durante esta fase se produce la mayor pérdida de aceite en el proceso, causada por la impregnación de las tusas con aceite, representando un 33% de la pérdida total. Esta pérdida de aceite es de difícil manejo porque, con excepción de controlar adecuadamente el proceso de esterilización, es poco lo que se puede hacer para evitarla.

Como se observa, gran parte de los inconvenientes presentados en el procesamiento de los racimos en la planta de beneficio, están basados en los requerimientos de

*Oscar Mauricio Díaz Rodríguez - Ing. Químico - Inv. Auxiliar Cenipalma. odiaz@cenipalma.org
Jesús Alberto García Núñez - Ingeniero Sanitario, Msc. Ing. Agrícola - Inv. Titular Cenipalma. jgarcia@cenipalma.org
Carolina Hernández Mancipe - Química Alimentos - Jefe Insp. y Ensayo Aceites S.A. carolinah@aceitesa.com
Jahnes Ronal Prada Castro - Est. Ing. Química - U. Atlántico. ronaldtime@gmail.com
José Francisco Granados Granados - Ing. Químico - Dir. Planta de Beneficio. Aceites S.A. aceitesa@diadnet.net.co

la materia prima a procesar. Es decir, si se logra una modificación de la misma, es posible eliminar y rediseñar algunas secciones del proceso de extracción de aceite de palma. En este sentido, se planteó la realización de un proyecto, que busca diseñar y evaluar una máquina herramienta que facilite el desespigado de los racimos en campo, para enviar a planta únicamente las espigas con fruto. De esta manera, se genera un material con una mayor densidad de carga y facilidad de manejo en comparación con los racimos, por sus características de producto a granel. Así mismo, se persigue con el proyecto determinar las condiciones más apropiadas de procesamiento de espigas con fruto, especialmente lo que respecta al proceso de esterilización y prensado, teniendo en cuenta que el desfrutado sería eliminado. Estos parámetros de operación están enfocados a reducir el consumo de vapor y tiempo de esterilización, así como al establecimiento de un proceso más continuo y menos severo que no propicie el deterioro de la calidad del aceite extraído.

Con este marco de referencia, Cenipalma, en colaboración con las plantas de beneficio de El Roble y Aceites S.A. y ubicadas en la Zona Norte, ha venido realizando ensayos industriales de procesamiento de espigas de los racimos de la palma de aceite. Los resultados de estas pruebas han mostrado un incremento en la eficiencia de extracción de aceite por reducción de pérdida en fibra y eliminación del flujo en tusas.

El cambio en las condiciones y composición de la materia prima de la planta de beneficio al aplicar el proceso de desespigado requiere determinar nuevos parámetros de operación adecuados, en las etapas del proceso de acuerdo con los requerimientos del nuevo material. Teniendo en cuenta el anterior planteamiento, en el presente Ceniavances, se muestran los resultados de la determinación de parámetros de esterilización a escala piloto para espigas con fruto utilizando un equipo de esterilización piloto que permite total control de la etapa, siendo representativo de la operación a escala industrial y que además evita la perturbación operativa de la planta.

Esterilizador Piloto

Con el fin de evaluar los ciclos de esterilización para espigas con fruto, sin influir en la operación normal de la planta, se consideró la utilización de un esterilizador a escala piloto. Este equipo fue diseñado por personal técnico de Cenipalma, Aceites S.A. e Industrias AVM.*

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones y características físicas del equipo.

Tabla 1. Dimensiones esterilizador piloto.

Esterilizador Piloto	
Diámetro(m)	0,95
Longitud (m)	3,3
Instrumentación	Manómetro 0-120 psi
Vagoneta	
Longitud (m)	2,8
Ancho (m)	0,68
Alto (m)	0,26
Capacidad bache	200 kg

Este equipo cuenta con distribuidor de vapor con cinco válvulas de alimentación al cuerpo del esterilizador, así como, sistema de descarga de condensados y de expansión de vapor, es decir, cuenta con todas las condiciones de operación de un

autoclave industrial. En las siguientes Figuras se muestra el equipo instalado en la planta de beneficio de Aceites S.A.



Figura.1. Esterilizador Piloto. Vista lateral Derecha. Figura.2. Esterilizador Piloto. Vista Frontal.

Metodología

La metodología planteada permitió evaluar ciclos de esterilización (tratamientos) dispuestos por un diseño factorial al azar, aplicados a frutos con espigas provenientes de racimos desespigados en campo.

Diseño Experimental

El diseño experimental consideró la evaluación de ciclos de esterilización para espigas con fruto, en baches de 200 Kg, aplicando ciclos de esterilización sin picos de presión, dispuestos en un nivel de presión constante durante un período para cada tratamiento. Los tratamientos se integraron en un diseño factorial de dos factores (presión y tiempo de sostenimiento) con tres niveles cada uno (Tabla 2), distribuidos completamente al azar. Lo anterior genera nueve tratamientos con cinco repeticiones para un total de 45 ensayos de esterilización.

Tabla 2. Diseño factorial de los ensayos de esterilización con tres niveles de presión y tres niveles de tiempo de sostenimiento

Factor Nivel	Factor	
	Presión (psi)	Tiempo (min)
1	5	20
2	20	40
3	35	60

Las variables establecidas son determinantes para la calificación de un adecuado ciclo de esterilización. Estas fueron:

- Humedad residual en espigas (%)
- Humedad en nuez y coloración de almendra (%)
- Humedad residual en pulpa (%)
- Impregnación de aceite en espigas (% aceite/sólidos secos no aceitosos)
- Ablandamiento del fruto esterilizado
- Volumen de condensados generados (litros condensados/kg. de fruto)

Las humedades e impregnación de aceites en espigas se determinan a la salida del esterilizador.

Descripción de proceso y operación del equipo

En todos los casos, la fruta fue seleccionada en tolva considerando características adecuadas de maduración. Después, la fruta fue desespigada manualmente por un operario hasta obtener únicamente espigas con frutos como material a esterilizar. Las espigas con fruto se pesaron y colocaron en la vagoneta del esterilizador piloto (200 kg espigas y frutos). Posteriormente, se daba inicio a la

*. Esta empresa aportó igualmente un recurso económico importante en la construcción de este equipo.

inyección de vapor al esterilizador de acuerdo con los niveles de presión y tiempo considerados para cada tratamiento. Para controlar la alimentación de vapor se contó con válvulas dispuestas en el distribuidor de vapor del equipo, siendo verificada la presión con el manómetro. La descarga de condensados contó con un sistema de electrodos por nivel, anclada a un tablero que ilumina una bombilla indicando el momento en el que se debe abrir la válvula de descarga.

Al finalizar el tiempo establecido para el ensayo de acuerdo con el tratamiento aplicado, se procedió a realizar la expansión de vapor y descarga de condensados final, según los parámetros normales de operación de equipos de esterilización industriales.

Resultados y discusión

Ninguna de las variables de respuestas presentó una interacción estadísticamente significativa entre la presión y la temperatura. A continuación se resaltan los resultados para cada una de las variables de respuesta.

Humedad residual en espigas

El análisis estadístico de los datos arrojó, que la presión es el único factor con influencia significativa sobre la humedad en espigas. El factor tiempo y la interacción entre factores no tienen influencia significativa en esta variable. Los resultados del análisis de varianza para la humedad en espigas mostraron que la presión de 35 psi es diferente de los datos de presión a 5 y 20 psi, lo cual se debe a la mayor deshidratación ocurrida a mayor presión.

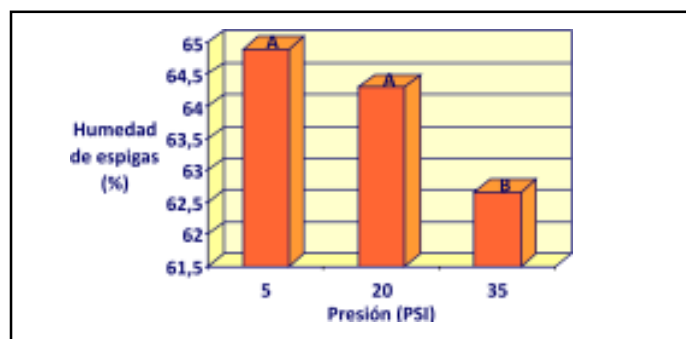


Figura 3. Humedad en espigas (%) a tres niveles de presión. (Diferencias significativas usando LSD < 0.05)

Humedad residual en nuez y coloración de almendra.

El análisis estadístico de los datos determinó que sólo la presión tiene un efecto estadísticamente significativo en la deshidratación de la nuez de la fruta; además, el mismo análisis indicó que la interacción de los factores presión y tiempo no constituye un efecto significativo para esta variable de respuesta. Una inspección visual y registro fotográfico muestra cómo se afecta la nuez y la almendra con cada tipo de esterilización, a continuación se muestra el efecto de los tratamientos, en los que se nota un color más oscuro de la almendra relacionada principalmente por efectos de la presión (Figura 4).

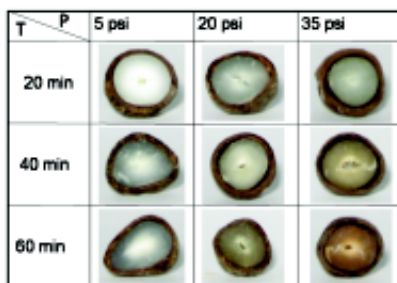


Figura 4. Coloración de la almendra y estado de la nuez esterilizada a tres niveles de presión y temperatura.

Humedad residual en Pulpa.

Respecto a la humedad residual en pulpa, el análisis de los datos mostró que la presión es el único factor que tiene efecto estadísticamente significativo sobre esta variable. Al igual que para la impregnación, los efectos del tiempo y la interacción de las variables no constituyen un efecto significativo sobre la humedad residual en pulpa. En la Figura 5 se presentan los valores de la humedad en pulpa donde se separan dos grupos con diferencias significativas. El primero corresponde a 5 psi y el segundo a los valores de humedad para 20 y 35 psi. El resultado descrito se debe a que el nivel de presión de 5 psi, producto de un menor flujo de vapor utilizado en sus ciclos de esterilización, genera una menor transferencia de energía a los frutos y por lo tanto la evaporación del agua contenida en la pulpa es menor que para los otros dos tratamientos.

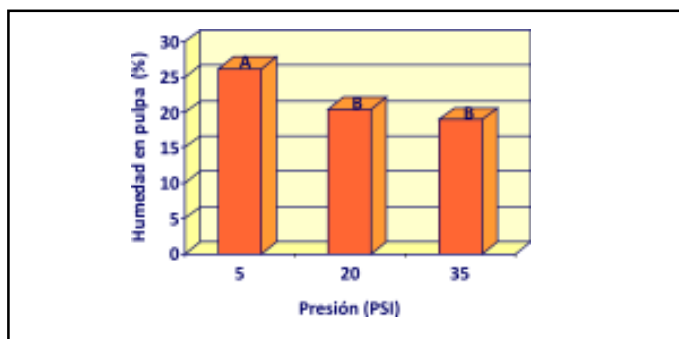


Figura 5. Humedad en pulpa (%) a tres niveles de presión en la esterilización. (Diferencias significativas usando LSD < 0.05)

Impregnación de aceite en espigas

El análisis estadístico del experimento, determinó que sólo la presión tiene un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en la impregnación de aceite en la espiga; además, el mismo análisis indicó que la interacción de los factores presión y tiempo no constituye un efecto significativo para esta variable de respuesta. En la Figura 6 se presentan dos grupos estadísticos en los cuales el grupo A, que está compuesto por el tratamiento de presión 35 psi, presenta los valores más altos de impregnación, comportamiento generado por la alta transferencia de energía asociada al flujo de vapor que provoca que el aceite contenido en el mesocarpio se libere en gran medida e impregne las espigas. Por otro lado, los niveles de presión de 5 y 20 psi no presentan diferencias significativas en cuanto a impregnación y reportaron los valores más bajos, lo que muestra que el grado de impregnación de aceite en espigas es directamente proporcional al nivel de presión del ciclo.

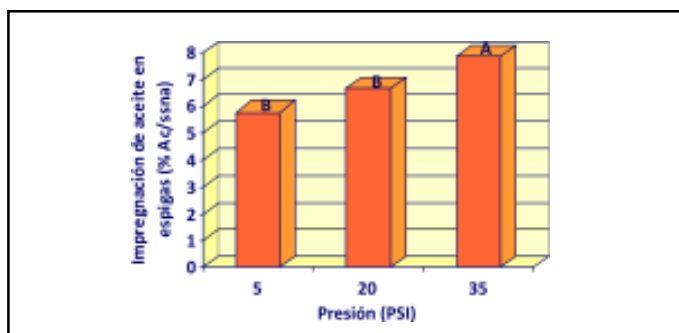


Figura 6. Impregnación de aceite en espigas a tres niveles de presión en la esterilización. (Diferencias significativas usando LSD < 0.05)

Ablandamiento de la pulpa de frutos

El ablandamiento del fruto es influenciado por el ciclo de esterilización, de tal forma que este indicador da un indicio del grado de maceración que alcanzará la fruta en la etapa de digestión. Se calificó cualitativamente el ablandamiento alcanzado en tres niveles bajo, medio y alto. De acuerdo con la observación realizada durante el proceso y la experiencia del personal de la planta en materia de esterilización, se llegó a la conclusión de que el grado medio de ablandamiento es adecuado para la digestión y prensado de la fruta, teniendo en cuenta que este permite la fácil liberación del aceite. Como puede verse en la Tabla 6, este grado de ablandamiento se logra a 20 psi de presión con tiempos de sostenimiento de 40 o 60 minutos, o con 35 psi de presión durante 20 minutos.

Tabla 3. Ablandamiento de pulpa de fruta-ciclos de esterilización

Tratamiento	Ciclo Esterilización	Nivel de ablandamiento
1	5 psi-20 min	Bajo
2	5 psi-40 min	
3	5 psi-60 min	
4	20 psi-20 min	
5	20psi-40 min	Medio
6	20psi-60 min	
7	35 psi-20 min	
8	35 psi-40 min	
9	35 psi-60 min	Alto

Generación de Condensados

El análisis de datos determinó que la presión tiene efecto estadísticamente significativo al igual que el tiempo sobre la formación de condensados; sin embargo, el mismo análisis indica que la interacción de los factores presión y tiempo no constituye un efecto significativo para esta variable de respuesta. En la Figura 7 se puede observar el comportamiento en la formación de condensados al transcurrir el tiempo de esterilización para cada una de las presiones de trabajo evaluadas, 5 psi, 20 psi y 35 psi.

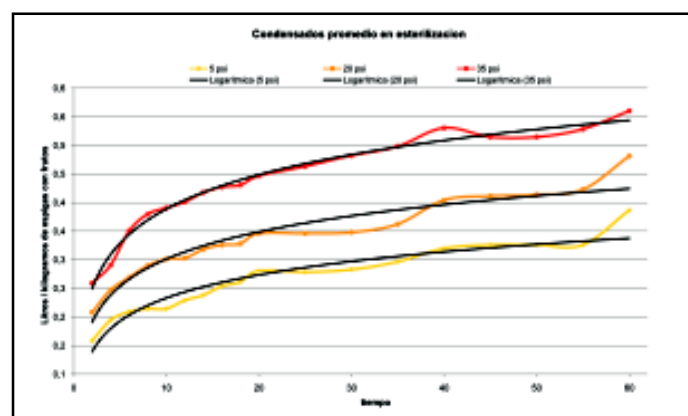


Figura 7. Formación de condensados por fruta esterilizada a presiones de 5, 20 y 35 psi.

El consumo de vapor es una variable a considerar debido a los costos que implica el tratamiento del agua para calderas y de igual forma el costo de operación y mantenimiento de las mismas. De igual forma, se puede apreciar una reducción en consumo de vapor por el uso de presiones constantes y tiempos menores de esterilización, respecto a los ciclos tradicionalmente aplicados.

Estos resultados parciales deben complementarse con la evolución de la máquina herramienta de desespigado en campo y con un análisis de costos para evaluar su factibilidad económica de implementación a nivel comercial

Agradecimientos

Los autores agradecen especialmente, a Colciencias por la confinación de este proyecto en conjunto con Aceites S.A. y Cenipalma. Así mismo, especial agradecimiento a Industrias AVM por la colaboración en la fabricación del equipo piloto de esterilización.

Referencias bibliográficas

- YÁÑEZ, E; GARCÍA, J; FUENTES, L.. 2000. Impregnación de aceite en los racimos vacíos durante la esterilización y el desfrutado. Palmas vol 21 Especial Tomo 1 p 312.
- FERNÁNDEZ, C. 1998. 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.
- Fuentes, L. Optimización y estandarización de operaciones en el proceso de extracción de aceite de palma en la zona central con énfasis en esterilización, centrifugación y muestreo. Tesis- Uis. Bucaramanga.
- SIVASOTHY K.; TAN YU H.. 2006. The current status of commercialization of the continuous sterilization process. XV Conferencia Internacional sobre palma de aceite. Cartagena.



Director: **Pedro León Gómez Cuervo**

Revisión de textos: **Comité de Publicaciones de Cenipalma**

Coordinación editorial: **Oficina de Comunicaciones**

Diseño y diagramación: **Briceño Gráfico**

Impresión: **Molher Ltda. Impresores**

Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero