

Nuevas tendencias en el procesamiento de aceite de palma

New trends in palm oil milling

Autor



Sivasothy Kandiah

Junta del Aceite de Palma de
Malasia (mpob)
siva@mpob.gov.my

Palabras clave

Aceite de palma, esterilización
continua, palma de beneficio

Palm oil, continuous sterilization,
oil palm mills

Resumen

En los últimos años ha surgido un proceso de esterilización continua basado en la trituración de racimos de fruta fresca mediante un triturador de doble rodillo y esterilización con vapor a baja presión. La separación de los frutos de los racimos es significativamente mejor que con el proceso convencional de esterilización. Después de su primera implementación a escala comercial, hace cerca de ocho años, el sistema de esterilización continua ha sido perfeccionado y mejorado y los procesos posteriores también han sido modificados para maximizar la extracción de aceite y de palmiste. Las plantas de beneficio que lo utilizan pueden ser operadas en condiciones prácticamente estables, haciendo innecesario los frecuentes ajustes para compensar las fluctuaciones de los procesos que ocurren en plantas de beneficio convencionales. Surge así un nuevo paradigma para el diseño y operación de plantas de beneficio basadas en esta tecnología que reduce de manera notoria la mano de obra. También están surgiendo nuevas tecnologías para hacer más sostenibles ambientalmente las plantas de beneficio. Combinando la esterilización continua con un nuevo proceso de clarificación de cero dilución se disminuye en 50% la cantidad de aguas residuales de la planta de beneficio. Es posible alcanzar una rebaja aún más significativa usando un nuevo proceso de clarificación basado en evaporación, todavía en fase de desarrollo. Tal reducción hace posible pensar en el tratamiento de aguas residuales utilizando métodos que antes se técnica y/o económicamente inviables. Por ejemplo, actualmente algunas plantas de beneficio están considerando el co-compostaje de efluentes o aguas residuales con racimos vacíos para el tratamiento completo de todas las aguas residuales. Se espera que un nuevo paradigma surja en los próximos años con énfasis en el uso de tecnologías de cero vertimientos para el tratamiento de este tipo de aguas.



Abstract

The past few years have witnessed the emergence of a new process for continuous sterilization based on crushing the fresh fruit bunches using a double-roll crusher, and sterilizing using low-pressure steam. Bunch stripping is significantly better than with the conventional sterilization process. Following the first commercial-scale implementation about eight years ago, the system for continuous sterilization has been further refined and improved. Processes downstream to the continuous sterilization process have also been modified to maximize palm and kernel oil extraction rate. Mills using continuous sterilization systems can be operated at close to steady-state conditions, making it unnecessary to make frequent adjustments to compensate for the types of process fluctuations encountered in a conventional mill. A new paradigm is emerging for the design and operation of mills based on this technology that facilitates a significant manpower reduction. New technologies are also emerging for making palm oil mills more environmentally-friendly. Combining the continuous sterilization process with a new zero-dilution clarification process achieves approximately 50% reduction in the amount of effluent discharged from the palm oil mill. Even more significant reductions may be possible by using a new clarification process based on evaporation that is still under development. Such significant reduction makes it viable to consider treating the effluent using approaches that were previously considered to be not technically and/or economically viable. For example, co-composting of palm oil mill effluents with empty fruit bunches is now being considered by some palm oil mills for completely treating all wastewaters. A new paradigm is expected to emerge over the next few years that will emphasize the use of zero-discharge technology for effluent treatment.



Introducción

Existe cada vez mayor conciencia, entre los industriales del aceite de palma en Malasia, de la necesidad de actualizarse para seguir siendo viable y competitivo el cultivo, a la luz de nuevos retos que incluyen, entre otros, las regulaciones ambientales más estrictas, la escasez de mano de obra y la competencia con otros países productores.

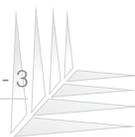
Recientemente, se han impulsado diversos desarrollos para transformar la tecnología de procesamiento de aceite de palma como la esterilización continua. Este proceso simplifica la operación y conduce a una importante reducción de mano de obra. Las plantas de beneficio que la utilizan pueden ser supervisadas y automatizadas más fácilmente.

En una planta de beneficio típica, únicamente se recupera como aceite o palmiste, entre el 26 y el 30% de la materia prima. Los productos de desecho más importantes son: fibra, cáscaras, racimos vacíos y aguas

residuales que contienen condensados del esterilizador y lodos del separador. El contenido de humedad de la fibra y las cáscaras es suficientemente bajo para usar como fuentes de energía para la generación de vapor y energía eléctrica que se emplea en la operación de la planta. El tratamiento y la eliminación de otros desechos (por ejemplo aguas residuales y racimos vacíos) pueden tener serias implicaciones ambientales.

La incineración de racimos vacíos o tusas es ampliamente practicada en muchas de las antiguas plantas de beneficio, pero produce contaminación del aire y está prohibida en las nuevas. Existen innumerables problemas asociados con el uso de racimos vacíos como cobertura del suelo, entre los que se destacan: altos costos de transporte y distribución y tiempos muy largos de degradación. Si estos no se esparcen apropiadamente, se estimula la proliferación de moscas y de escarabajos rinoceronte.

Por cada tonelada procesada de racimos de fruta fresca se generan aproximadamente 0,6 toneladas



de aguas residuales de planta de beneficio. En 2008, Malasia produjo cerca de 53 millones de toneladas de aguas residuales de procesamiento en 410 plantas de beneficio. La Demanda Biológica de Oxígeno (dbO) de las aguas residuales vertidas en las plantas de beneficio en ese país equivale a una población de 78 millones de habitantes (casi tres veces la población de Malasia).

Es ampliamente reconocido que se requiere de un sistema más efectivo para tratar las aguas residuales que el aeróbico/anaeróbico de pozos abiertos que se utiliza en la actualidad. La sedimentación de los pozos, debido a la concentración de sólidos suspendidos, reduce su efectividad y conduce a mayores costos de operación. El tratamiento de aguas residuales en condiciones anaeróbicas también produce emisiones de metano (gas de efecto invernadero cuyas emanaciones son 21 veces más potentes que el dióxido de carbono).

Este documento examina cómo el procesamiento de aceite de palma está evolucionando para abordar los problemas señalados anteriormente. Es imposible cubrir todos los nuevos desarrollos en tecnologías de procesamiento de aceite de palma en un texto de unas pocas páginas. Por tanto, el presente escrito se enfoca en algunas pocas tecnologías que pueden tener un impacto substancial en el procesamiento del aceite de palma y que puedan conducir a la instalación de plantas de beneficio altamente automatizadas y ambientalmente responsables.

Esterilización continua

En las plantas de beneficio que utilizan el proceso de esterilización convencional, los racimos se cargan en cajas y se empujan hacia los esterilizadores, donde se procesan en lotes utilizando vapor a 40 psig. Por el método convencional se evita el deterioro de la calidad del aceite debido a la actividad enzimática. Igualmente, se facilita la separación de los frutos de los racimos y la extracción de aceite y de palmiste. Sin embargo, el uso de vapor a alta presión y liberación intermitente de presión para lograr una buena esterilización, dificulta el procesamiento continuo.

La Figura 1 ilustra el concepto del nuevo sistema de esterilización continua utilizado por más de 40 plantas de beneficio. Los racimos de fruta fresca, con su disposición cerrada de espiguillas, pasan primero por un triturador de doble rodillo, luego se calientan con vapor a baja presión para facilitar el procesamiento continuo.

Aunque el nuevo proceso se realiza empleando vapor a baja presión o a presión atmosférica, se ha encontrado que mejora de manera importante la separación de los frutos del racimo, pero queda un pequeño porcentaje de los frutos originalmente presentes en los racimos de fruta fresca. No se observan racimos con altos porcentajes de frutos sin desprender, como sucede en los sistemas de esterilización por lotes.

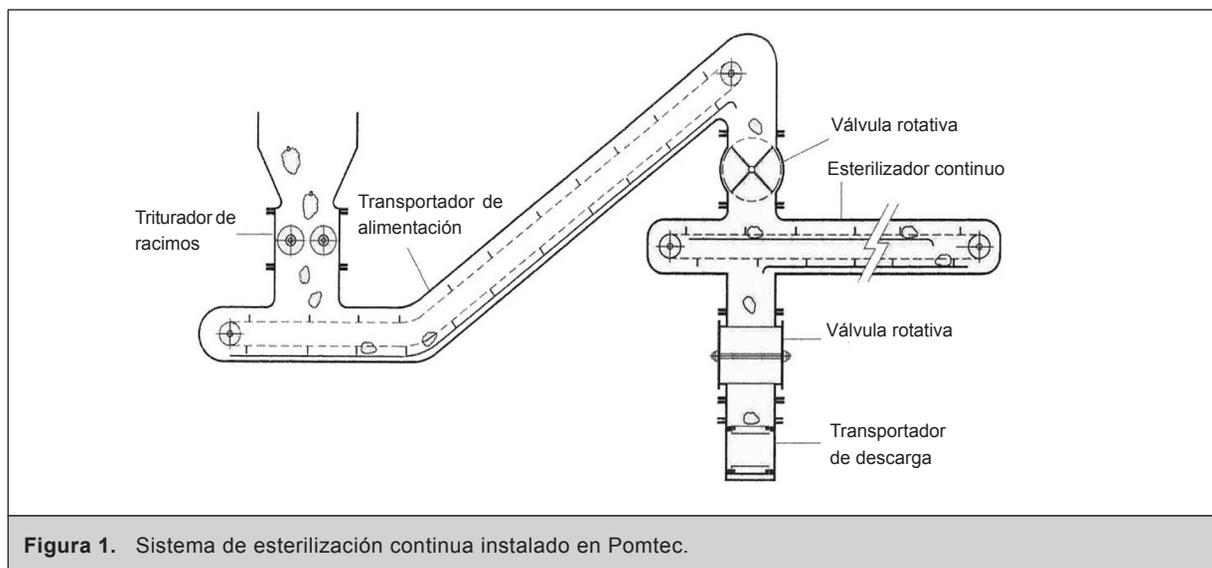
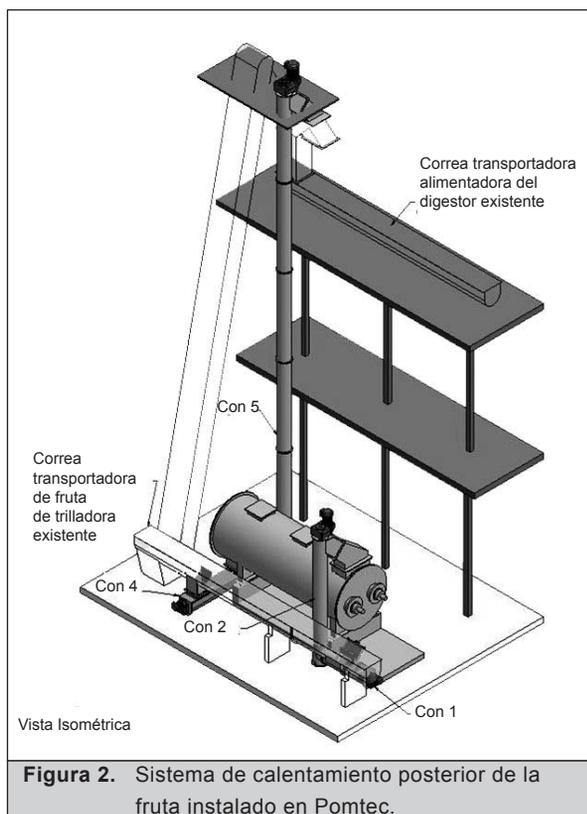


Figura 1. Sistema de esterilización continua instalado en Pomtec.

El grado de cocción alcanzado durante el proceso de esterilización continua es insuficiente para optimizar la extracción de aceite y de palmiste. Los frutos deben ser calentados aún más después del proceso de separación. El sistema de calentamiento posterior que se muestra en la Figura 2 utiliza transportadores de tornillo instalados verticalmente para alimentación y descarga. Esto hace que el sistema general sea compacto y bien organizado y no requiere dispositivos especiales para bloquear el vapor. El transportador de descarga también reemplaza el elevador usado para alimentar los frutos esterilizados a los digestores en una planta de beneficio típica.

La digestión se hace utilizando ya sea el digestor vertical convencional o el nuevo horizontal. La principal ventaja de este último es que se reduce la pérdida de aceite en el prensado de torta por el drenaje mejorado del digestor (Tabla 2).

Para reducir la pérdida de aceite se puede realizar el prensado en dos etapas (Tablas 3 y 4). La primera se lleva a cabo a baja presión para minimizar el rompimiento de las nueces. Luego las nueces se separan de la fibra en una despulpadora. En segunda instancia



la fibra se prensa a alta presión para extraer la mayor cantidad posible de aceite residual.

La Tasa de Extracción de Palmiste (ker, por sus siglas en inglés) de las plantas de beneficio que utilizan el proceso de esterilización continua fue inicialmente más baja que en las plantas convencionales. El problema se ha solucionado secando las nueces por lo menos quince horas antes de triturarlas.

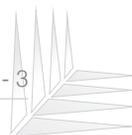
La presión de vapor en una planta de beneficio que utiliza esterilización continua fluctúa mucho menos que en las convencionales. Cuando se evita el uso de múltiples ciclos de esterilización, la demanda de vapor permanece relativamente constante porque se minimizan las variaciones en la presión de vapor, en el voltaje y en la frecuencia eléctrica, que conducen normalmente a mayores pérdidas, mala calidad del producto y baja en la producción.

Otra ventaja de utilizar la esterilización continua es que la demanda constante de vapor permite una alimentación constante de combustible a la caldera, evitando las variaciones de alimentación para ajustarse a las fluctuaciones en la demanda de vapor. Las variaciones en el suministro de combustible tienden a trastornar la proporción de aire/combustible en el horno y son responsables de las emisiones de humo negro de la caldera.

Eliminando el uso de cajas de esterilización y carrileras, el nuevo proceso facilita el diseño y construcción de plantas de beneficio con huellas menores que las de las plantas convencionales. Las plantas de procesamiento de aceite de palma que utilizan el nuevo proceso son más fáciles de administrar que las convencionales y requieren 50% menos de mano de obra (Tabla 5).

El uso de transportadores para el manejo de racimos minimiza el derramamiento de frutos y aceite durante el procesamiento. Por tanto, las plantas son más limpias. Si se diseñan adecuadamente, igualmente se reduce la frecuencia de las operaciones de limpieza y la cantidad de aguas residuales que se vierten.

Una planta de beneficio de aceite de palma es mucho más segura para el trabajador cuando se evitan los tanques de presión para esterilización, así como las cajas y las grúas para el manejo de racimos.

**Tabla 1.** Plantas de beneficio que utilizan el sistema de esterilización continua

País	Número de plantas terminadas	Número de plantas en construcción	Número total de plantas
Malasia	17	7	24
Indonesia	21	6	27
Guatemala	0	1	1
Liberia	0	1	1
Costa de Marfil	1	0	1
Papúa (Nueva Guinea)	0	2	2
Tailandia	1	0	1
Total	40	17	57

Tabla 2. Comparación de rendimientos de prensa de tornillo en la planta de beneficio Kota Bahagia (Junio de 2007 a junio de 2008)

Número de prensa	Tipo de digestor	Análisis de torta de prensa (%)		
		Contenido de humedad	Contenido de aceite (base húmeda)	Contenido de aceite (base seca)
1	Horizontal	42,81	3,69	6,45
2	Vertical	44,39	3,93	7,07
3	Vertical	45,20	4,10	7,48
4	Horizontal	44,14	3,87	6,93

Tabla 3. Prensado en dos etapas en Balingian Palm Oil Mill (Junio de 2008)

Etapas de prensado	Análisis de torta de prensado (%)		
	Contenido de humedad	Contenido de aceite (base húmeda)	Contenido de aceite (base seca)
Primera	40,05	4,97	8,48
Segunda	39,91	3,44	5,86

Tabla 4. Prensado en dos etapas Melur Gemilang Palm Oil Mill (Junio de 2008)

Etapas de prensado	Análisis de torta de prensado (%)		
	Contenido de humedad	Contenido de aceite (base húmeda)	Contenido de aceite (base seca)
Primera	38,87	4,70	7,80
Segunda	34,56	2,86	4,31

Tabla 5. Número de operarios de proceso por turno

Planta	Producción nominal (t/h)	Número de operarios por turno
Ladang Pasir Besar	10	8
Sungai Terah	20	11
Kota Bahagia	30	20
Bukit Puteri	20	10
Melur Gemilang	40	10
Balingian	45	12/13
PT SAI	45	12

Aunque la tecnología de esterilización continua se ha comercializado con éxito, todavía se puede mejorar más. Actualmente esta técnica se ve favorecida por la construcción de pequeñas plantas de beneficio. Pero es necesario mayor desarrollo para que sean adoptadas por las plantas más grandes. La tasa de extracción de aceite y de palmiste en plantas de beneficio de esterilización continua ha mejorado de forma notoria después de los cambios introducidos en los procesos posteriores y hoy se puede comparar con las plantas de beneficio

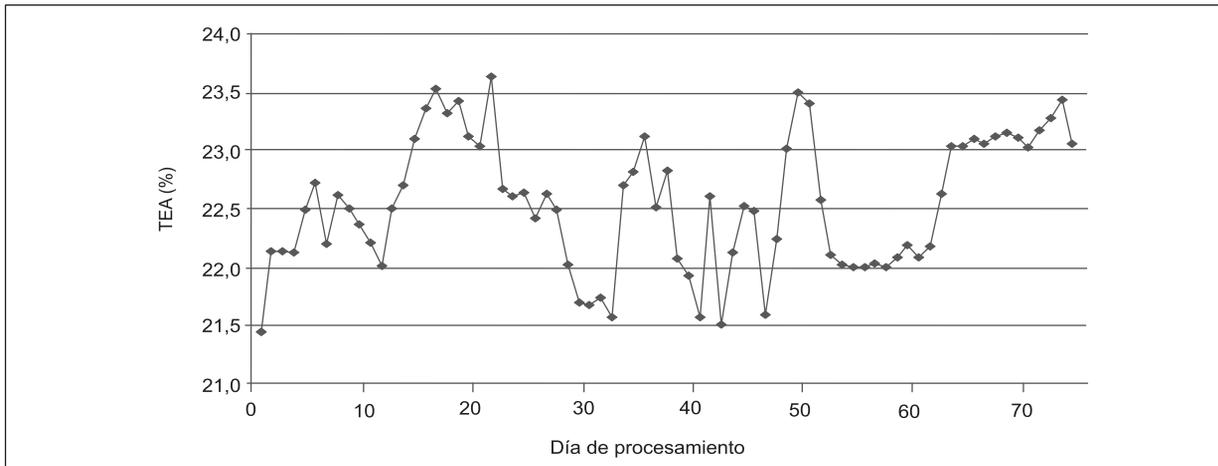


Figura 3. tea diaria en PT SAI Palm Oil Mill de agosto de 2008 a octubre de 2008.

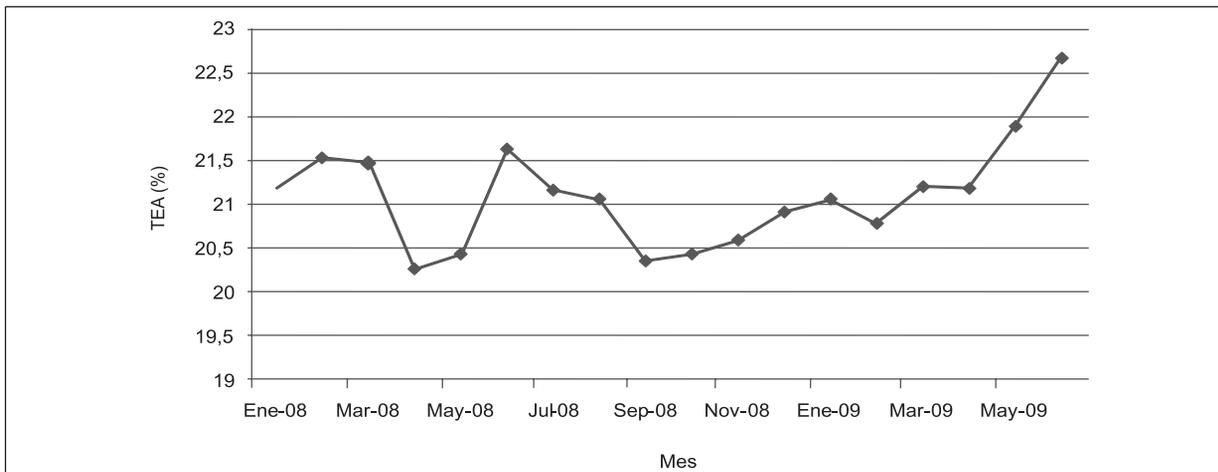


Figura 4. tea promedio mensual en Sungai Terah Palm Oil Mill de enero 2008 a junio de 2009.

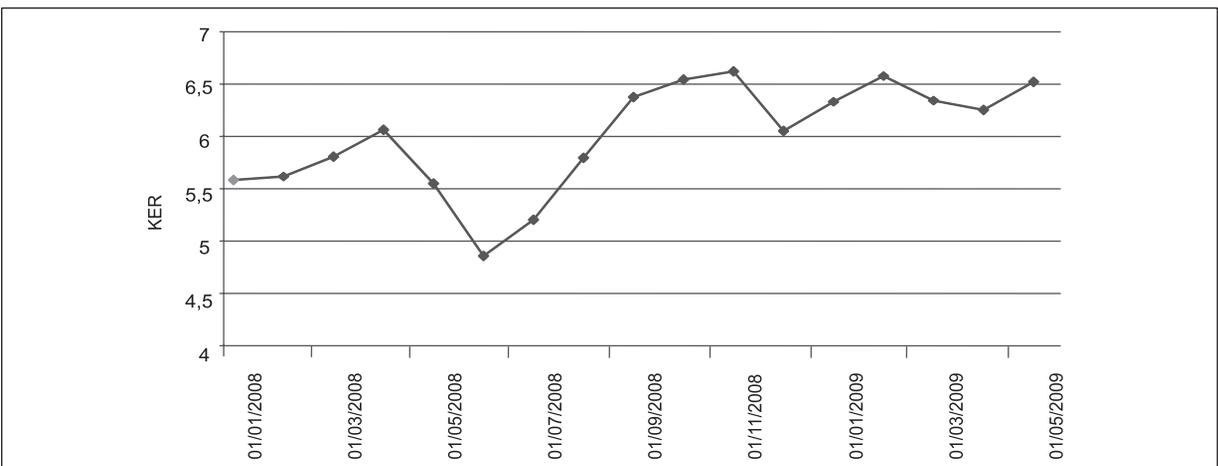
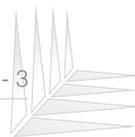


Figura 5. Tasa promedio de extracción de palmiste (ker) en Sungai Terah Palm Oil Mill de enero de 2008 a mayo de 2009



convencionales. Las Figuras 3 a 5 proporcionan las Tasas de Extracción de Aceite (tea) y de Palmiste (tep) de algunas plantas de beneficio que utilizan el proceso de esterilización continua. La Tabla 6 compara el rendimiento de la planta de beneficio Sungai Terah con otras, en el Estado de Kelantan en Malasia.

El proceso de esterilización continua favorece cambios radicales en el diseño y operación de las plantas de beneficio. Se cree que el potencial de la nueva tecnología para facilitar el monitoreo y control de la planta todavía no se ha realizado por completo. También parece oportuno tomar un enfoque más holístico para modernizar las plantas de beneficio de aceite de palma, investigando sobre los *downstream* que puedan complementar este nuevo proceso para lograr mejoras trascendentales.

En las dos siguientes secciones se discuten algunos desarrollos recientes en la clarificación del aceite de palma que minimizan la cantidad de aguas residuales vertidas.

Clarificación del aceite de palma utilizando decantadores

El tratamiento de aguas residuales de la planta de beneficio para una dbo final de 20 ppm, como se estipula en el doe en áreas ambientalmente sensibles, requiere el uso de tecnologías que pueden ser onerosas. El costo operacional y el consumo de energía de estas plantas también pueden ser muy altos.

Para hacer las plantas de beneficio de aceite de palma más sostenibles ambientalmente se sugiere modificar los procesos para reducir la cantidad de aguas residuales y tratarlas utilizando métodos considerados anteriormente como técnica y/o económicamente inviables.

En el proceso convencional de clarificación, la separación primaria del aceite y los lodos se hace en tanques mediante el uso de la fuerza de gravedad. Una separación óptima se alcanza con la dilución de aceite crudo en agua caliente para reducir su viscosidad. En la separación se emplean clarificadores continuos horizontales o verticales. Se han hecho intentos de usar centrífugas decantadoras para restar la cantidad de agua que se agrega al licor de prensa y lograr una clarificación eficiente del aceite.

En las plantas de beneficio se usan decantadores de dos fases para separar sólidos suspendidos, que pueden ser subsecuentemente secados con un secador rotativo. La instalación de los decantadores antes de la clarificación del aceite puede conducir a la reducción en la cantidad de agua necesaria para clarificar el aceite. Sin embargo, normalmente se aprovechan para tratar el refinado del tanque de clarificación. Esto implica menos pérdidas de aceite en la torta. En este último caso no se consigue mermar la cantidad de aguas residuales porque el agua se necesita para facilitar el asentamiento del aceite en el tanque de clarificación.

El uso de decantadores de tres fases hace posible la clarificación del aceite y la separación de los sólidos

Tabla 6. Desempeño de planta de clarificación utilizando esterilización continua y procesos de clarificación de cero dilución

Día	% FFA en aceite producción	% humedad en aceite producción	% impureza en aceite producción	DOBI	% humedad en lodos	% aceite en lodos (base húmeda)	% aceite en lodos (base seca)	Proporción lodo/RFF	Pérdida aceite (% de RFF)
1	3,22	0,10	0,019	2,92	88,69	1,13	10,04	0,1993	0,2258
2	3,08	0,15	0,017	3,11	87,54	1,36	10,02	0,2878	0,3917
3	3,04	0,15	0,017	3,13	89,76	0,98	9,53	0,2979	0,2904
4	3,38	0,11	0,019	3,31	89,61	0,99	9,53	0,2745	0,2717
5	3,43	0,13	0,019	2,95	89,80	0,89	8,73	0,3080	0,2741
6	3,07	0,13	0,019	3,55	90,22	0,87	8,91	0,3071	0,2672
7	3,18	0,19	0,015	3,51	91,12	0,76	8,51	0,3499	0,2659
8	3,36	0,11	0,020	3,38	88,34	1,42	12,18	0,2941	0,4177
9	2,93	0,20	0,018	3,19	87,38	1,40	11,09	0,2610	0,3575
10	3,48	0,13	0,019	2,53	87,95	1,03	8,55	0,2875	0,2835
Promedio	3,22	0,14	0,018	3,16	89,04	1,08	9,71	0,2867	0,3046

suspendidos al mismo tiempo. Si el licor de prensa se usa para alimentar el decantador de tres fases, es factible remplazar tanto el tanque de clarificación como la centrífuga de lodos. Esto no solamente reduce la cantidad de agua necesaria para facilitar la clarificación del aceite, sino que simplifica el proceso de clarificación. Sin embargo, se observa que la pérdida de aceite es mayor que con el proceso convencional. Hoy, las plantas de beneficio de gran capacidad utilizan decantadores de tres fases, con o sin separadores de lodos, para tratar el refinado del tanque de clarificación. Como en el caso de los decantadores de dos fases, no se obtiene una reducción substancial en la cantidad de aguas residuales porque todavía se requiere la separación primaria aceite/lodos, utilizando tanques de clarificación.

Recientemente se ha probado el uso de un decantador especial de dos fases que permite la separación de aceite y lodos, mediante un proceso de clarificación de *zero dilución*. A diferencia de otros decantadores de dos fases que se centran en apartar los sólidos suspendidos, la principal función de este es lograr la

separación eficiente del aceite y de los lodos. Este no tiene la zona de secado que se encuentra en uno típico. La cantidad de aguas residuales se puede reducir a 0,4 toneladas por tonelada de racimos de fruta fresca (rff) procesada, con el nuevo proceso de clarificación. La Figura 6 ilustra el nuevo proceso en el que no se requieren tanques de sedimentación.

La mpob está investigando el uso de este sistema de decantación para reducir la cantidad de aguas residuales de las plantas de beneficio que utilizan el proceso de esterilización continua. La cantidad de condensados vertidos a lo largo de este proceso es mucho menor que en el de esterilización por lotes, porque no está sujeto a los ciclos críticos de calentamiento y enfriamiento de este último sistema. Adicionalmente, gran parte de los condensados del esterilizador son atrapados y vertidos con los racimos del esterilizador continuo y eventualmente con los lodos del proceso de clarificación.

La cantidad de lodos vertidos de los procesos de esterilización y clarificación se puede reducir a 0,6 toneladas por tonelada de rff procesada en una

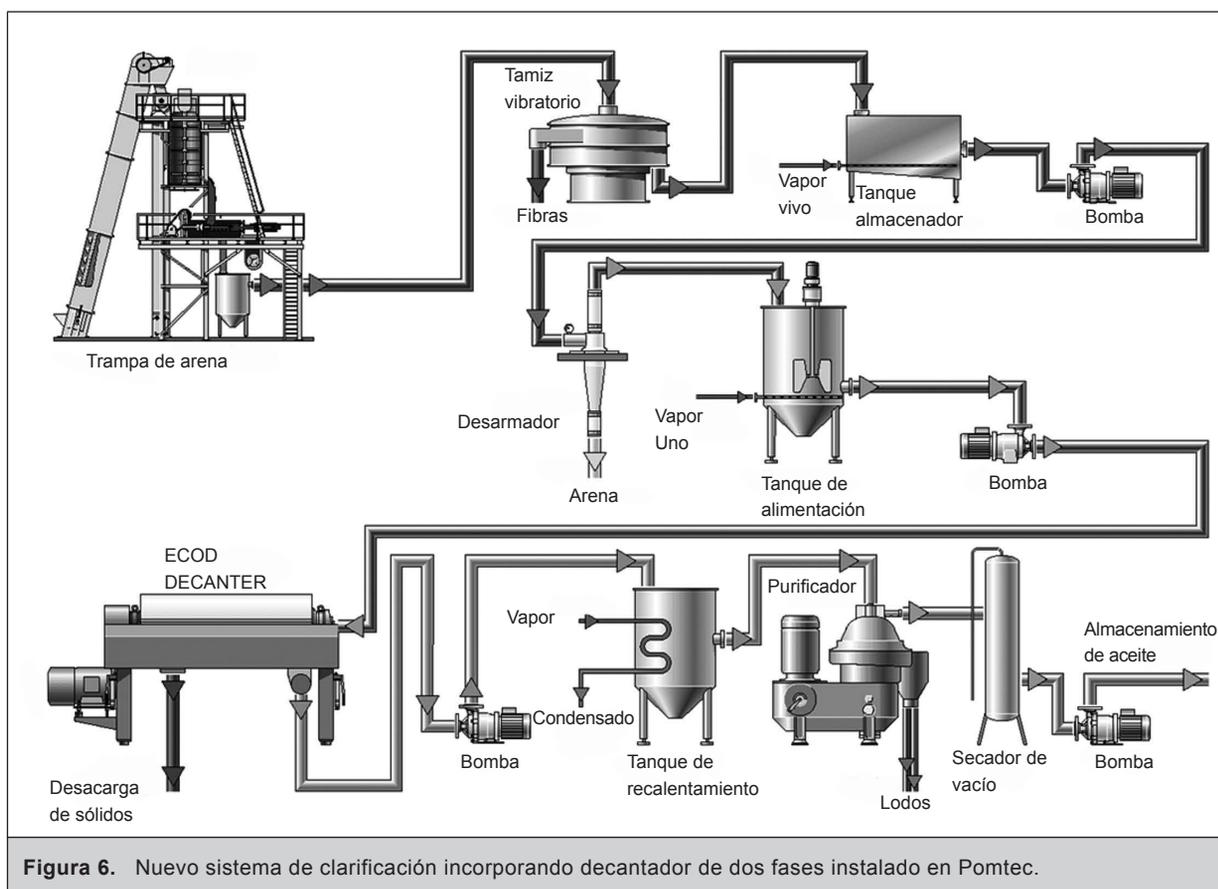
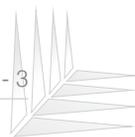


Figura 6. Nuevo sistema de clarificación incorporando decantador de dos fases instalado en Pomtec.



planta de beneficio convencional, a 0,29 toneladas en una planta de beneficio de esterilización continua y el nuevo sistema de clarificación (Tabla 7). Los estudios realizados hasta la fecha indican que la pérdida de aceite con el nuevo sistema de clarificación es menor que con el convencional.

El nuevo sistema de clarificación requiere menos espacio que el convencional. El costo del sistema completo de clarificación no varía con respecto al convencional porque no se requieren tanques de clarificación ni centrifugas de lodos.

El sistema de clarificación puede ser fácilmente automatizado, lo que permite reducir aun más los requerimientos de mano de obra.

El tiempo de retención en el decantador dura unos cuantos segundos comparado con las cinco horas en el tanque de sedimentación. Así se mejora la calidad del aceite.

La cantidad reducida de aguas residuales favorece su tratamiento junto con racimos vacíos, utilizando la tecnología de compostaje (Figura 7). Esto significa que no se incurre en costos adicionales para instalar una planta de tratamiento de aguas residuales que cumpla con las normas ambientales. Además, debido a que el compostaje es un proceso aeróbico, las plantas de beneficio que utilizan compostaje para el tratamiento de aguas residuales tienen derecho a subsidios bajo el sistema de Mecanismos de Desarrollo Limpio (mdl) porque se evita la emisión de gas metano durante el tratamiento de estas aguas. El uso de gas de combustión de las calderas para secado, que se muestra en la Figura 7, garantiza que las plantas de beneficio no contaminan el aire.

Los sistemas de compostaje tienden a ser intensivos en mano de obra porque los esfuerzos para mecanizar la operación no han sido fructíferos. La inversión de capital requerida para la instalación de estas plantas y los costos de operación y mantenimiento (entre

US\$1,70 y US\$2,90 por tonelada de rff procesada) son considerables. El alto consumo de energía de los trituradores y los volteadores de compost hacen necesario el uso de motores diésel para suplementar la energía producida por las plantas de procesamiento.

Clarificación de aceite de palma utilizando evaporación

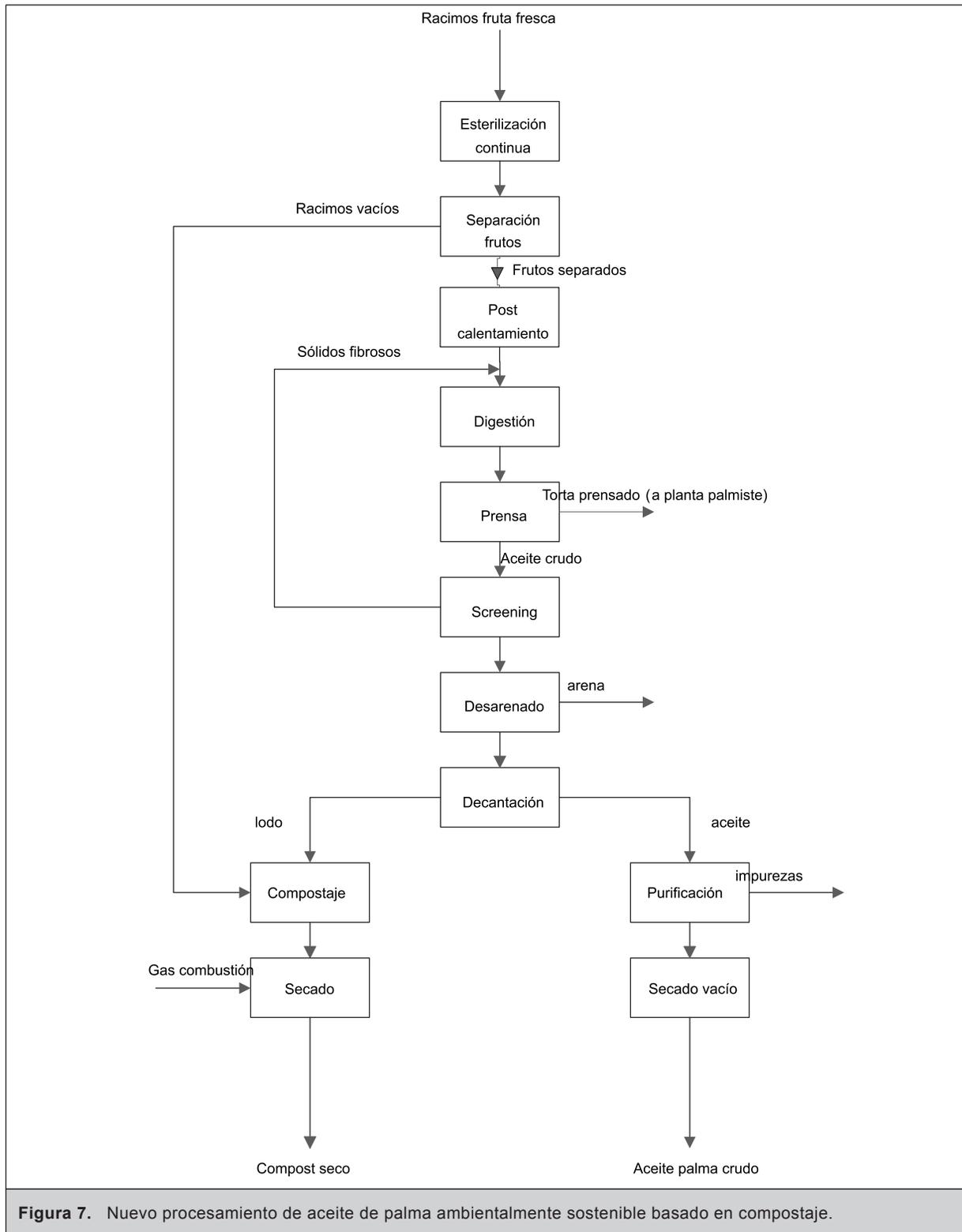
Los problemas que se presentan con el tratamiento biológico de desechos, incluyendo el compostaje de aguas residuales con racimos vacíos, han impulsado una búsqueda de soluciones alternativas para hacer las plantas de beneficio ambientalmente sostenibles. Se ha recomendado el uso de un sistema de evaporador para eliminar la humedad directamente del efluente de la planta. El alto contenido de humedad y la gran cantidad de aguas residuales sin tratar significa que la carga del sistema evaporador es muy alta. Las concentraciones de sólidos de más del 20% no son posibles porque el producto se vuelve demasiado viscoso y evita la eliminación de la humedad por medio de la evaporación. La necesidad de quemar racimos vacíos para satisfacer la alta demanda de la evaporación también incrementa los costos generales.

La Figura 8 ilustra un nuevo proceso de clarificación que estudia la mpob. El licor que sale de las prensas de tornillo se pasa, sin dilución, a una criba vibratoria para eliminar sólidos fibrosos. Luego se calienta a 95 °C y se procesa utilizando un sistema de ciclón para eliminar la arena antes de pasar al decantador de dos fases, donde se elimina una porción sustancial de sólidos suspendidos en forma de torta.

La fase líquida del decantador pasa a un sistema evaporador para eliminar una porción significativa de la humedad en forma de destilado. Preferiblemente se utiliza un sistema de evaporador de circulación forzada de efecto múltiple porque es menos susceptible a la suciedad. La evaporación se realiza bajo condiciones

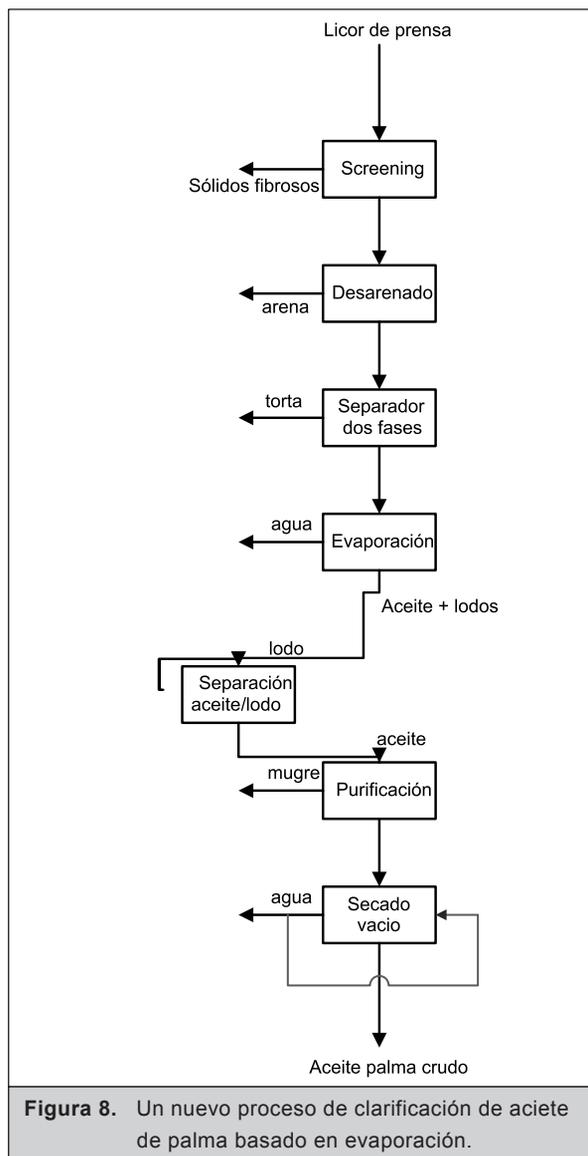
Método	Costo por tonelada de rff procesada (US\$)
Compost	1,90
Transporte (Efluente sin tratar)	2,10
Transporte (Efluente de planta que utiliza esterilización continua y nuevo proceso de clarificación)	0,41
Tratamiento convencional de efluentes (Pozos)	0,25

* Con base en costos de transporte de US\$3,50 por tonelada de efluente para distancias de menos de 50 km en Malasia.



de vacío a una temperatura aproximada de 70° C. La presencia de más del 50% de aceite en la alimentación al evaporador, minimiza la suciedad en el tubo.

El licor del sistema de evaporación se recalienta cerca de 95 °C y luego se pasa a un tanque de clarificación para separar el aceite y el lodo por medio



de la gravedad. La separación en dos fases líquidas inmiscibles se produce rápidamente debido a la reducida viscosidad y a la mayor concentración de sólidos disueltos de la fase de lodos.

Los lodos del tanque de clarificación todavía contienen aceite que se recupera utilizando un separador centrífugo.

El aceite se descarga en un tanque para continuar el procesamiento utilizando purificador y un secador de vacío.

Con la carga de humedad reducida en el sistema evaporador no es necesario quemar los racimos vacíos para satisfacer las demandas de energía. Esto conlleva ahorros sustanciales ya que no se requiere una planta de pretratamiento de racimos vacíos ni de caldera.

Se espera que la cantidad de efluente vertida de una planta de beneficio, que utiliza el proceso de esterilización continua y el nuevo sistema de clarificación, sea del 20% en comparación con una planta convencional. La menor cantidad de lodo se puede secar fácilmente, utilizar como alimento para animales, como fertilizante o mezclar con racimos vacíos y convertir en compost.

Por otra parte, la reducción de la cantidad de efluente vertida puede hacer viable su transporte a una planta centralizada, de tal manera que no se requeriría tratamiento dentro de la planta misma. En virtud de que no se necesita un sistema de pozos, el área de construcción de la planta se reduciría sustancialmente.

Las plantas centrales de generación de energía se valen de racimos vacíos en vez de efluentes de la planta de beneficio en razón a los menores costos de transporte. El transporte de efluentes sin tratar de una planta de beneficio típica a una planta centralizada, se considera generalmente inviable por el alto contenido de humedad. El aspecto económico puede variar si la cantidad de efluentes vertidos es 20% de la cantidad vertida en una planta convencional. La Tabla 7 compara los costos de tratamiento de algunos métodos que se han propuesto para tratamiento de efluentes o aguas residuales. Es importante anotar que el costo del tratamiento para llevar el afluente a una dbp de menos de 20 ppm es mucho mayor a US\$0,25. El tratamiento del afluente en una planta centralizada llevaría a las plantas de beneficio a instalar sus propias plantas de tratamiento. Este enfoque es probablemente más adecuado para plantas pequeñas.