

CONVERSIÓN DE EFLUENTES Y TUSAS

en fertilizante orgánico con cero desperdicios

AUTORES



Ooi Ling-Hoak

Advanced Agriecological Research
Sdn. Bhd., Locked Bag 212, Sg.
Buloh Post Office, 47000 Sg.
Buloh, Selangor, Malaysia. e-mail:
aarsb@po.jaring.my

Lee Keong-Hoe

Boustead Estates Agency Sdn.
Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia, e-
mail: lkh.bea@boustead.com.my

Chan Khoon-San

No. 91, Leboh Bagor, Taman
Petaling, 41200 Klang, Selangor,
Malaysia; e-mail:
khoonsan@tm.net.my

Palabras CLAVE

Biosecado, crédito de carbono,
compostaje, tusa, fertilizante
orgánico, efluentes de planta
de beneficio, cero-desperdicio
cero-descargas.

Bio-drying, carbon credit,
composting, empty fruit bunch,
organic fertiliser, palm oil mill
effluent, zero-waste
zero-discharge.

Traducido por Fedepalma.
Versión original en inglés
disponible en el Centro de
Documentación de Fedepalma.

TURNING POME AND EFB

Into Organic Fertilizer without Waste and Discharge

RESUMEN



Durante el procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF) de aceite de palma, se producen cerca de 60 toneladas de efluentes y 20 toneladas de racimos vacíos o tusas por cada 100 toneladas de fruto procesado. El efluente es un residuo líquido compuesto aproximadamente de 94% de agua y 6% de sólidos con alta demanda bioquímica de oxígeno y muy contaminante cuando se descarga en las aguas, mientras que la tusa es un desperdicio sólido con aproximadamente 64% de contenido de humedad. Este trabajo presenta un método para convertir los efluentes y las tusas en fertilizante orgánico sin generar desperdicios ni descargas. Inicialmente, las tusas frescas se preparan pasándolas a través de una trituradora y luego por una trilla y prensado para recuperar el aceite y palmiste residual antes de pasarlas a una cortadora para reducir el tamaño y aumentar la porosidad. Las tusas así preparadas se pasan a un reactor especial en el que se agregan los efluentes sin tratar dos veces al día durante siete días. Al inicio, el efluente sin tratar se enriquece con un acelerador para agilizar el compostaje y el biosecado. La mezcla de efluente y tusas se recicla y se airea dos veces al día. Esto se logra abriendo el fondo del reactor y descargando su contenido al transportador. El transportador recicla el contenido a través de la cortadora donde la tusa se corta en pedazos aún más pequeños y luego se envía de nuevo al reactor. La mezcla de efluente y tusa se homogeniza y se airea en el proceso. De acuerdo con la velocidad de degradación y biosecado, se agregan cantidades adecuadas de efluente sin tratar a la mezcla en el momento de reingreso al reactor. El proceso se repite durante siete días. El novedoso proceso fue desarrollado en una planta piloto llamada Boustead Biotherm Palmass Plant™ (BBPP). Fue capaz de evaporar hasta 1.14kg agua/kg materia seca/día en un período de siete días. El contenido de nutrientes mayores de las tusas se incrementó en forma sustancial a través de adiciones secuenciales de efluente sin tratar. La mayor parte de los nutrientes en las tusas preparadas y efluente sin tratar se recuperaron en el fertilizante orgánico final de la mezcla de tusas y efluente. Durante la preparación de las tusas, se recuperó cerca del 63% del aceite de palma impregnado en los racimos vacíos. Con base en los resultados obtenidos en la planta piloto, se ha diseñado una planta a escala comercial para tratar y convertir todo el efluente producido en una planta de beneficio en fertilizante orgánico por medio de compostaje y biosecado usando tusas como material principal. Esta planta, cuya patente está en trámite, de cero desperdicio y cero descargas podría reemplazar a las lagunas anaeróbicas para tratamiento de efluentes y eliminar la emisión de metano y, por tanto, tener derecho a



créditos de carbono, mejorar el reciclaje de nutrientes, ayudar a proteger las aguas y el medio ambiente, y contribuir a la sostenibilidad de las plantaciones de aceite de palma. Se espera que la planta tenga una tasa interna de retorno de entre 5 y 39% y un período de amortización de entre 3 y 8 años.

SUMMARY

During the processing of oil palm fresh fruit bunch (FFB), about 60 tons of palm oil mill effluent (Pome) and 20 tons of empty fruit bunch (EFB) are produced for every 100 tons of FFB processed. POME is a liquid waste consisting of about 94% water and 6% solids with high biochemical oxygen demand and very polluting when discharged into waterways, while EFB is a solid waste with about 64% moisture content. This paper reports a method of turning Pome and EFB into an organic fertiliser without producing any waste and discharge. Initially, fresh EFB is prepared by passing it through a crusher followed by a second threshing and pressing to recover the residual palm oil and kernel before it is passed to a cutter to reduce its size and increase its porosity. The prepared EFB is then loaded into a specially constructed ventilated compost reactor where raw Pome is sequentially added to the prepared EFB two times a day for seven days. Raw Pome is enriched with an accelerator at start-up to speed up composting and bio-drying. The composting EFB-Pome mixture is recycled and aerated two times per day. This is achieved by opening the bottom of the compost reactor and discharging its contents onto the conveyor below. The conveyor recycles the contents through the cutter where the EFB is further downsized and then returned to the compost reactor. The EFB-Pome mixture is homogenized and aerated in the process. Depending on the rate of degradation and drying, appropriate amounts of raw POME are added to the EFB-Pome mixture on re-entry into the reactor. The process is repeated for seven days. The novel process was developed in a pilot plant called the Boustead Biotherm Palmass Plant™ (BBPP). It was able to evaporate up to 1.14kg water/kg EFB dry matter/day over a 7-day period. The major nutrients content of the prepared EFB was increased substantially through sequential additions of raw Pome. The bulk of the nutrients in the prepared EFB and raw POME were recovered in the final EFB-Pome organic fertilizer. During the preparation of EFB, about 63% of the palm oil lodged in EFB was recovered. Based on the results obtained from the pilot plant, we have designed a commercial scale BBPP to treat and convert all the Pome produced in a palm oil mill into an organic fertiliser by composting and bio-drying using EFB as the bulking material. This patent-pending zero-waste zero-discharge plant could replace the anaerobic lagoons for treating Pome and eliminate the emission of methane and hence qualify for carbon credit, improve recycling of nutrients, help to protect watercourse and environment, and contribute to the sustainability of oil palm plantations. The BBPP is expected to have an internal rate of return of between 5 and 39% and pay back period of between 3 and 8 years.



INTRODUCCIÓN

Durante el procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF) de aceite de palma, se producen cerca de 60 toneladas de efluentes y 20 toneladas de racimos vacíos (RV) o tusas por cada 100 toneladas de fruto procesado. El efluente es un residuo líquido compuesto aproximadamente de 94% de agua y 6% de sólidos. Los sólidos son esencialmente orgánicos, de los cuales 95% son sólidos volátiles con alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) lo que los hace muy

contaminantes cuando se descargan en los ríos. Los racimos vacíos o tusas son desechos sólidos con aproximadamente 64% de humedad.

Los efluentes deben ser tratados para reducir la DBO a niveles aceptables antes de eliminarlos. En la actualidad, el sistema más común de tratamiento es la digestión anaeróbica en pozos o tanques para reducir la DBO a los niveles requeridos antes de descargarlos a los ríos. En el pasado, los racimos vacíos (RV) o tusas se incineraban y las cenizas se usaban como fertilizante con alto contenido de potasio. La incinera-

ción de tusas destruye la materia orgánica y la mayoría de los nutrientes de la planta y también contamina el aire, lo que hoy día no es aceptable. Se ha demostrado que la aplicación directa de tusas al campo mejora el crecimiento y el rendimiento de las palmas de aceite (Khoo y Chew 1979; Gurmit *et al.* 1981 y 1990; Loong *et al.*, 1988; Lim y Chan, 1990; Hornus y Nguimjeu, 1992). Pero los racimos vacíos son muy voluminosos y su aplicación es muy costosa. Una forma de superar este problema es a través del compostaje (Lim, 1989; Goenadi *et al.*, 1998; Schuchardt *et al.*, 1998 y 2006 y Chong, 2005).

El tratamiento convencional de efluentes por medio del proceso anaeróbico produce una cantidad considerable de metano. Ma (1999) reportó que la digestión anaeróbica de efluentes produce una mezcla de biogás (65% CH₄, 35% CO₂ y trazas de H₂S) y que aproximadamente 28 m³ de biogás se pueden generar de 1 tonelada de efluente en ensayos de laboratorio. Yacob *et al.* (2005, 2006) señaló un nivel más bajo de emisión de metano de tanques digestores abiertos y pozos anaeróbicos en dos plantas de beneficio en Malasia. Existe un gran potencial para reducir las emisiones de gases de invernadero (EGI). Schuchardt *et al.* (2006) indicaron que en la digestión anaeróbica de efluentes en pozos de una planta de beneficio que procesa 30 toneladas por hora de aceite de palma y produce 160.000 toneladas de RFF/año puede generar créditos de carbono de aproximadamente 24.000 toneladas al año.

Este trabajo presenta los resultados de un experimento en el que el proceso de compostaje se optimizó para remover la humedad (Richard y Choi, 1996) y evitar la emisión de metano. En el experimento, se agregó efluente dos veces al día a las tusas preparadas en un reactor de compostaje especialmente diseñado con autodrenaje y ventilación llamado Boustead Biotherm Palmass Plant™ (BBPP).

Con base en los resultados obtenidos, se diseñó un reactor a escala comercial para producir abono y secar todos los efluentes y tusas que se producen en una planta de beneficio que procesa 30 toneladas por hora de aceite de palma y produce 150.000 toneladas de RFF al año, para convertirlos en fertilizante orgánico. El reactor generará 20.000 toneladas de créditos de

carbono y producirá 15.000 toneladas de fertilizante orgánico al año. Se espera que la planta tenga una tasa interna de retorno de entre 5 y 39% con un período de amortización entre 3 y 8 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El reactor Boustead Biotherm Palmass™ construido para el ensayo se muestra en la Figura 1. El proceso se resume en la Figura 2 y a continuación se explica brevemente:

Fase 1

Recuperación de aceite y frutos no desprendidos y preparación de tusas para compostaje y biosecado de efluentes.

Las tusas frescas del primer ciclo de trillado pasan a través de una trituradora (1) para desprender los frutos que hayan quedado del primer ciclo. Las tusas trituradas pasan por un segundo ciclo de trillado (2) para recuperar los frutos. De allí las tusas trituradas pasan a una prensa de tornillo (3) para recuperar el aceite residual y finalmente las tusas pensadas se pican (4) para reducir su tamaño y aumentar la porosidad (espacios de aire) convirtiéndolas en material de relleno para compostaje y biosecado de efluentes.



Figura 1. Planta Boustead Biotherm Palmass™.

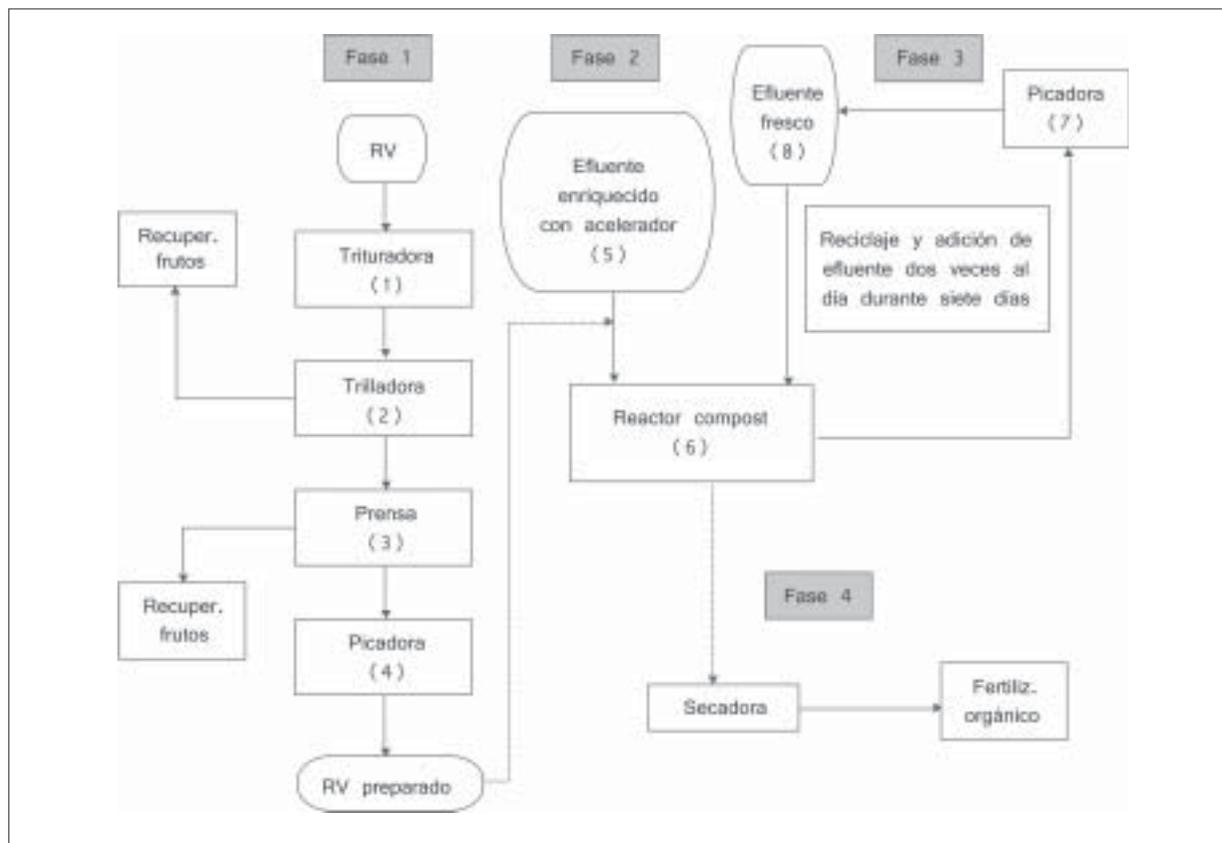


Figura 2. Conversión de efluentes y tusas en fertilizante orgánico con cero desperdicios.

Para determinar los efectos del paso (3), después del segundo ciclo de trillado, 16 racimos vacíos se cortaron en forma longitudinal por la mitad. La mitad de los racimos cortados se pasó a través de una prensa de tornillo y se determinó el contenido de humedad, aceite y nutrientes para comparar con la mitad no prensada.

Fase 2

Preparación de efluentes no tratados para acelerar el proceso de descomposición y biosecado.

En un tanque separado, se agrega un acelerador (5) al efluente sin tratar para acelerar el proceso de descomposición y biosecado. Las tusas picadas se descargan a un transportador donde se asperjan con el efluente enriquecido. Luego, la mezcla de efluente y tusa se carga a un reactor de compostaje con auto-drenaje y ventilación (6) donde permanece por un período inicial de 12 horas.

Fase 3

Reciclaje del compostaje de la mezcla de tusas y efluentes para aireación, picado adicional de las tusas, homogeneización y adiciones periódicas de efluente sin tratar.

El compostaje de la mezcla de tusas y efluentes se recicla dos veces al día para aireación, reducción de tamaño y adición de efluentes. Esto se hace abriendo el fondo del reactor y descargando su contenido en un transportador. El transportador lleva la mezcla a una picadora (7) donde se reduce aún más su tamaño, después de lo cual se asperja con efluente fresco (8) antes de ser llevado de nuevo al reactor. Este proceso se repite durante siete días.

Fase 4

Secado del producto final usando el gas de escape de la caldera. En el día octavo, el producto final se lleva a una secadora y se seca hasta lograr un

contenido de humedad de 30% usando el gas de escape de la caldera.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Efectos de la trituración, segundo trillado y prensado

Los efectos de pasar las tusas frescas, después de la trituración y un segundo trillado, a través de una prensa de tornillo se resumen en la Tabla 1.

La prensa de tornillo reduce el contenido de humedad de las tusas, después de la trituración y un segundo trillado, de 64% a aproximadamente 55%. La prensa de tornillo puede extraer casi 63% del aceite contenido en las tusas, disminuyendo el contenido de 11,62 a 4,29%. Se sospecha que el aceite recuperado contiene cera pero esto no fue medido. Posteriormente, este aceite se recuperó por medio del digestor. El prensado tuvo poco efecto en el contenido de carbón de los racimos vacíos o tusas.

Además de aceite, la prensa también extrae aproximadamente entre 12 y 31% de los principales nutrientes contenidos en las tusas. La mayor pérdida fue de K, que se redujo en 31% seguido en orden descendiente por Mg (29%), P (22%), Ca (14%) y N (12%). Sin embargo, estos valiosos nutrientes se reciclaron a través del efluente que, posteriormente, se mezclaron con las tusas picadas para producir un fertilizante orgánico. Debido a que la prensa de

tornillo tuvo muy poco efecto en el contenido de carbono de los racimos vacíos, el contenido de N se redujo; por tanto, la proporción carbono/nitrógeno aumentó de un valor inicial de 66 a 74 después del prensado.

Cantidad de efluente agregado y cálculo de balance de masa

La cantidad de efluente sin tratar agregado a las tusas picadas en los siete días y el efecto de la descomposición microbiana sobre el contenido de materia seca de la mezcla en dos ensayos realizados en la planta piloto se muestra en la Tabla 2.

Se observó muy poca variación en el contenido de humedad del efluente y las tusas al comienzo del ensayo. En un período de siete días, se agregaron 5.94 y 3.20 veces la cantidad de efluente sin tratar a las tusas picadas en los ensayos A y B respectivamente. A estas proporciones, las tusas pueden absorber todo el efluente producido; asumiendo que la proporción de efluente/tusa que se produce en una planta de beneficio es 3:1.

La cantidad de efluente agregado a las tusas en los ensayos A y B fue 1.49 y 0.78 kg por kg de materia seca por día, respectivamente. La cantidad de agua evaporada fue de 1,14 y 0,52 kg por kg de materia seca de tusa por día. La pérdida combinada en materia seca de efluente y tusas picadas durante el ensayo fue de 23 y 32% respectivamente. La pérdida

Tabla 1. Efectos de pasar tusas a través de una prensa de tornillo después del triturado y una segunda trillada

Parámetro	Promedio (% materia seca)		Cambio
	Antes prensado	Después prensado	
Humedad (% en muestra)	63,90 (0,96)	55,24 (1,10)	14
Aceite	11,62 (0,78)	4,29 (0,75)	63
Nitrógeno (N)	0,77 (0,03)	0,68 (0,03)	12
Fósforo (P)	0,091 (0,01)	0,068 (0,01)	22
Potasio (K)	2,35 (0,09)	1,61 (0,08)	31
Calcio (Ca)	0,28 (0,02)	0,24 (0,02)	14
Magnesio (Mg)	0,14 (0,01)	0,10 (0,01)	29
Carbono (C)	49,91 (0,62)	49,32 (0,99)	1
Ceniza	7,66 (0,29)	5,25 (0,21)	31
C:N ratio	65,76 (1,97)	74,29 (2,97)	13
pH (1 parte nuestra por 2,5 partes agua)	5,08 (0,13)	5,20 (0,09)	2

Nota: las cifras en paréntesis son errores estándar

Los siguientes métodos se usaron para la determinación de nutrientes:

- i. C y N por máquina CNS
- ii. K por método de llama fotométrica
- iii. P por método calorimétrico
- iv. Ca y Mg por método de absorción atómica



Parámetro	Efluentes sin tratar		Tusas aplicadas		Fertilizante orgánico		Pérdida de materia seca	
	Ens. A	Ens. B	Ens. A	Ens. B	Ens. A	Ens. B	Ens. A	Ens. B
Humedad (%)	93,39	93,71	46,67	45,30	71,32	74,40		
Peso húmed. (kg)	13.900	7.800	2.340	2.440	5.810	4.840	10.430	5.400
Materia seca (kg)	919	491	1.248	1.335	1.666	1.239	501	587
Agua (kg)	12.981	7.309	1.092	1.105	4.144	3.601	9.929	4.813
Parámetro							Ens. A	Ens. B
Proporción de efluente agregado y tusa picada							5,94	3,20
Cantidad de agua de efluente agregada a la tusa (kg/kg RV MS por día)							1,49	0,78
Cantidad de agua evaporada o perdida (kg/kg RV MS por día)							1,14	0,52
Pérdida de materia seca (%)							23	32

Nota: RV= racimos vacíos.

de materia seca es el resultado de la degradación de la materia orgánica causada por microorganismos y es uno de los indicadores clave del rendimiento del sistema de compostaje. La considerable pérdida de materia seca y la gran cantidad de agua evaporada en un período relativamente corto de siete días indican que la descomposición fue relativamente rápida y que se logró un alto nivel de biosecado.

La diferencia en cantidad de efluente agregado y la cantidad de agua evaporada entre los ensayos A y B se debe a las siguientes razones:

i) En el ensayo A, las tusas se prepararon un día antes de comenzar el ensayo (antes de ser cargadas en el transportador y asperjadas con efluente), mientras que en el ensayo B, las tusas se prepararon en el mismo día. Esta diferencia de un día probablemente permitió el crecimiento de la población de bacterias y aceleró el proceso de

descomposición; por tanto, el ensayo A pudo usar más efluente.

ii) Las tusas picadas se empaparon más con efluente en el ensayo A. el exceso de efluente que drenó al reactor no se recuperó en su totalidad y parte del efluente se perdió. Desafortunadamente, la pérdida no se midió.

A una tasa de secado de 1,14 kg agua/kg materia seca de tusa por día durante siete días lograda en el ensayo A, se podría reducir el contenido de humedad de todos los efluentes y tusas producidos en una planta de beneficio de 94 a 60% y 64 a 60% respectivamente. Esto se ilustra en la Tabla 3 para 100 t de RFF procesado. La remoción de 53 toneladas (51+2) de agua por compostaje reduciría el contenido de humedad de efluentes y tusas a 60%. Una remoción adicional de 11,57 toneladas (3.86+7.71) de agua por medio de la secadora reduciría el contenido de humedad del fertilizante orgánico final a 30%.

	Agua removida (t)	Comentarios	
Reducción de contenido de humedad de efluentes de 94 a 60%	51,00	Compostaje	Inicia con 60t efluente 94% contenido de
Reducción adicional de contenido de humedad de 60 a 30%	3,86	Secadora	humedad (56.40t agua y 3.60t materia seca)
Reducción del contenido de humedad de RV de 94 a 60%	2,00	Compostaje	Inicia con 20t RV a 64% contenido de
Reducción adicional de contenido de humedad de RV de 60 a 30%	7,71	Secadora	humedad (12.80t agua y 7.20t materia seca)
Tasa de remoción de agua 1,14 kg agua/kg materia seca RV por día en un período de 7 días	57,46	Resultados obtenidos en ensayo A	

Contenido de nutrientes de tusas picadas, efluente sin tratar y producto final

Concentración de nutrientes

La concentración de nutrientes en tusas picadas, efluentes sin tratar y producto final (fertilizante orgánico) se muestra en la Tabla 4.

Se observó una variación considerable en la concentración de nutrientes de las tusas picadas y del efluente sin tratar y por tanto del producto final, en los dos ensayos. Esto se debe a la variabilidad inherente de estos productos de desecho. Sin embargo, no se puede descartar errores en el muestreo.

Aunque la concentración de nutrientes del efluente sin tratar fue mucho más alta que en las tusas picadas con base en materia seca, su contenido de humedad de aproximadamente 94% fue muy alto comparado con 46% en las tusas picadas. La proporción carbono/hidrógeno de las tusas picadas fue muy alta (100). Esto se redujo aproximadamente 37 en el producto final.

Entre los nutrientes mayores, el elemento más abundante en las tusas picadas fue K (1,17 y 1,51% en

materia seca en los ensayos A y B respectivamente), seguido en orden de abundancia por N (0,47%), Ca (0,15 y 0,21%), Mg (0,07 y 0,09%) y P (0,05 y 0,06%). El orden fue el mismo para efluentes sin tratar y por consiguiente en el fertilizante orgánico que es el producto final. La concentración de nutrientes de las tusas preparadas se incrementó en forma sustancial a través de adiciones periódicas de efluente sin tratar.

Cantidad de nutrientes

La cantidad de nutrientes en las tusas picadas, efluente sin tratar y recuperados en el producto final se muestra en la Tabla 5.

Aproximadamente entre 85 y 97% del N, P y Ca en las tusas picadas y efluente sin tratar se recuperó en el producto final o sea en el fertilizante orgánico. La recuperación de K y Mg, que se pueden lixiviar con facilidad fue más baja, particularmente en el ensayo A donde se agregó una cantidad excesiva de efluente que produjo más pérdidas por lixiviación. La recuperación se puede mejorar teniendo más cuidado para evitar la adición excesiva de efluente, y un mejor

Tabla 4. Concentración de nutrientes en RV, efluentes sin tratar y fertilizante orgánico

Ítem	Ens.	Concentración de nutrientes (% materia seca)							pH	C:N ratio
		Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	C		
RV picado (Prom. 3 muestras)	A	4,40	0,47	0,05	1,17	0,15	0,07	47,03	6,05	100
	B	5,42	0,47	0,06	1,51	0,21	0,09	47,82	6,43	101
Efluente sin tratar (Ens. a 12 muestras Ens. B 8 muestras)	A	16,70	1,87	0,26	3,71	0,82	0,69	43,04	3,87	23
	B	18,38	1,94	0,31	4,36	0,97	0,83	43,75	3,76	22
Fertilizante orgánico (Prom. de 3 muestras)	A	11,64	1,23	0,17	1,54	0,53	0,28	45,93	5,91	37
	B	10,69	1,24	0,16	2,55	0,52	0,33	45,41	7,31	37
Aumento en concentración de nutrientes en RV (%)										
			N	P	K	Ca	Mg			
	A		162	240	32	253	300			
	B		164	167	69	148	267			

Tabla 5. Cantidad de nutrientes en RV, efluentes sin tratar y fertilizante orgánico

Parámetro	Ens.	Materia seca (Kg)	Cantidad de nutrientes (kg)						
			Ceniza	N	P	K	Ca	Mg	C
RV picado	A	1248	55	5,87	0,62	14,60	1,87	0,87	587
	B	1335	72	6,27	0,80	20,16	2,80	1,20	638
Efluente sin tratar	A	919	153	17,19	2,39	34,09	7,54	6,34	396
	B	491	90	9,53	1,52	21,41	4,76	4,08	215
Mezcla efluente/RV	A	1666	194	20,49	2,83	25,66	8,83	4,66	765
	B	1239	132	15,36	1,98	31,59	6,44	4,09	563
Recuperados en RV-Efluente (%)	A	77	93	89	94	53	94	65	78
	B	68	81	97	85	76	85	77	66



sistema para la recuperación de efluentes del drenaje de los reactores y reciclarlos. Esto se hará en una planta a escala comercial que pronto se construirá.

Temperatura, contenido de humedad y pH de la pila de compostaje

La Figura 3 muestra la temperatura en el centro de la pila de compostaje en el reactor tomada entre las 7:00 a.m. y media noche.

La fluctuación de temperatura en el centro de la pila de compostaje se debe a una combinación de factores incluyendo el frecuente reciclaje de la mezcla de tusas y efluente, adición de efluentes sin tratar y desde luego la degradación microbiana.

La máxima temperatura registrada en los ensayos fue bastante superior al límite de 60°C para el óptimo compostaje termofílico. Por tanto, el sistema se puede mejorar volteando y reciclando la mezcla con más frecuencia. El reciclaje de la mezcla de compostaje tiene los siguientes efectos positivos:

- Reducción de temperatura para evitar el sobrecalentamiento que inhibe el proceso
- Enriquecimiento de la mezcla de compostaje con oxígeno
- Remoción de dióxido de carbono producido de la conversión microbiana de materia orgánica; por tanto, evitando concentraciones tóxicas que inhiben el proceso
- Aceleración de la remoción de vapor de agua producido por la pila de compostaje.

La reducción de temperatura para evitar el sobrecalentamiento de la mezcla de compostaje, el suministro de cantidades adecuadas de oxígeno y la rápida remoción de vapor de agua aceleran el proceso de compostaje y biosecado.

La Tabla 6 muestra el contenido de humedad y pH (2 partes de muestra para 5 partes de agua) de tres muestras de la mezcla tomadas en sitios representativos todas las mañanas al voltear la pila de compostaje.

En general, el contenido de humedad se mantuvo por encima del 70% la mayor parte del tiempo. Esto era de esperar ya que se agregó efluente a la pila de compostaje una o dos veces al día hasta lograr la saturación. Aunque esto se puede considerar excesivo para la descomposición aeróbica, las perforaciones en el reactor de compostaje aseguran que el exceso de efluente se drene y no afecte el proceso. La

Tabla 6. Contenido de humedad y pH de la mezcla RV-Efluente

Día	Contenido de humedad (%)		pH	
	(promedio de 3 muestras)			
	Ens. A	Ens. B	Ens. A	Ens. B
0	46,67	45,30		6,20
1	70,30	69,82	5,03	4,14 (rogue)
2	71,60	68,64	5,21	6,75
3	70,77	72,16	5,69	6,32
4	70,76	71,62	5,89	7,30
5	72,61	72,92	5,39	7,76
6	73,21	70,91	4,67	7,68
7	72,29	74,40	5,91	7,18

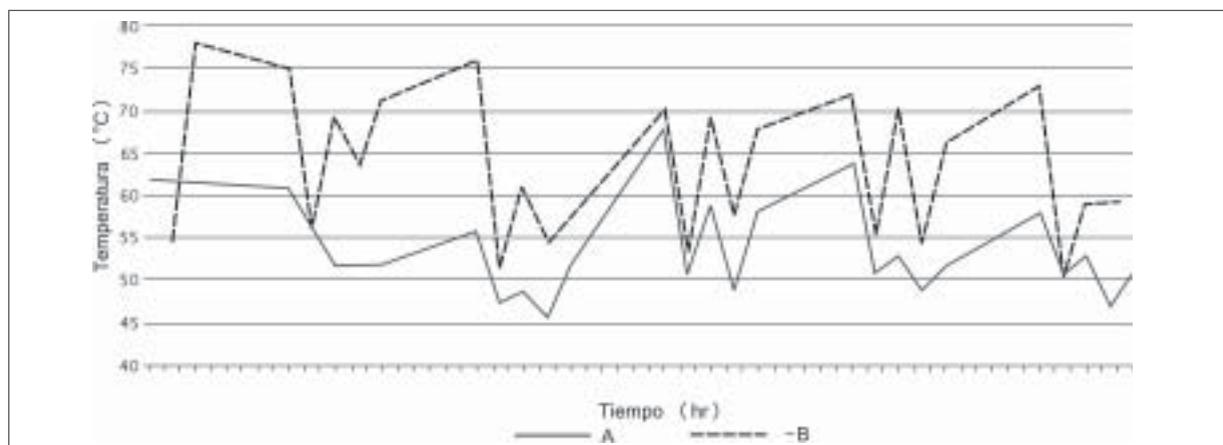


Figura 3. Temperatura en el centro del reactor vs tiempo.

ausencia de malos olores, la alta temperatura y pH logrados indican que efectivamente fue un proceso aeróbico. El pH más bajo registrado en el ensayo A compararon con el ensayo B se debió a la mayor cantidad de efluente agregado, que tiene un pH de 3,87 y también a que las tusas en el ensayo A se comenzaron a preparar con un pH más bajo.

Boustead Biotherm Palmass Plant™

Créditos de carbono y fertilizante orgánico

El reactor BBPP que utiliza todos los efluentes producidos en la planta de beneficio para compostaje con racimos vacíos (RV) o tusas no requiere lagunas anaeróbicas y siendo un sistema completamente aeróbico, no emite metano. Con base en fórmulas y estimados de Yacob *et al.* (2006) en el Estudio intergubernamental de 1996 sobre cambio climático, el reactor BBPP, actualmente en construcción para reemplazar las lagunas en una planta de beneficio que procesa 30 toneladas de aceite de palma por hora y produce 150.000 toneladas de RFF al año, reducirá las emisiones de metano en aproximadamente 20.000 toneladas de créditos de carbono por año. El BBPP también producirá 15.000 toneladas de fertilizante orgánico por año (Tabla 7).

Análisis económico

Se realizó un análisis económico del reactor BBPP usando el valor neto actual con un período de amortización descontado a una tasa del 10% de interés y la tasa interna de retorno. Los detalles de los supuestos se incluyen en el Apéndice 1 y el valor neto actual, la tasa interna de retorno y el período de amortización se resumen en la Tabla 8. Según los precios asumidos para fertilizante orgánico y créditos de carbono, se espera una tasa interna de retorno entre 5 y 37% y un período de amortización entre 3 y 8 años.

SUPUESTOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO

1. Costos de capital y operacionales

- 1.1 Costo de la planta BBPP = RM 7.5 millones
- 1.2 Mantenimiento de la planta BBPP @ 2,5% de gasto de capital
- 1.3 Costo operacional de la planta BBPP estimado así:
 - 1.3.1 Electricidad = RM 125.000/año

Tabla 7. Cantidad de fertilizante orgánico producido por procesamiento BBPP 150.000 toneladas de RFF/año

Ítem	Fracción de RFF	Cantidad (t/a)	Fracción MS	MS antes de compostaje (t/a)	MS después de compostaje asumiendo 30% pérdida de MS	Fertilizante orgánico @30% MC (t/a)
RFF		15.000				
RV	0,20	30.000	0,35	10.500	7.350	10.500
Efluente	0,60	90.000	0,05	4.500	3.150	4.500
			Total	15.000	10.500	15.000

Tabla 8. Valor neto actual (VNA), tasa interna de retorno (TIR) y período de amortización (PA)

Años	VNA descontado a 10% (RM'000)			Tasa interna de retorno (%)			Período de amortización descontado a 10% (year)		
	PB	PM	PA	PB	PM	PA	PB	PM	PA
7	-1.024	1.853	6.058	5	18	34	>7	5	3
10	461	4.091	9.398	12	23	37	8	5	3

Nota:

1. El período de siete años se basa en la carta de intención que se va a firmar con el Ministerio de Relaciones Exteriores de Dinamarca.
2. PB = precio bajo de productos.
3. PM = precio medio de productos.
4. PA = precio alto de productos.



- 1.3.2 Operadores = RM 72.000/año
- 1.3.3 Otros gastos = RM 19.225/año (5% de costo operacional)
- 1.4 Monitoreo, empaque y despacho de fertilizante orgánico y créditos de carbono = RM 162.000/año
- 1.5 Costos aproximados de los siete primeros años RM 428.000 para un proyecto a pequeña escala que asume el comprador de créditos de carbono
- 1.6 Costo de administración del proyecto y pagos a la Junta de MDL y verificación por parte de la Institución Designada a partir del año 8 estimado en RM 30.000/año

(Nota: USD 1 = RM 3,65)

2. Ingresos

2.1 Fertilizante orgánico. La cantidad de fertilizante orgánico producido por el procesamiento de 150.000 toneladas de RFF por año a tres precios se detalla en la Tabla 9.

El valor de 1 t de fertilizante orgánico es RM 70/t como se indica en la Tabla 10.

Tabla 9. Ingresos por concepto de 15.000 toneladas de fertilizante orgánico producidas por BBPP

Ingresos (RM)		
Precio bajo	Precio medio	Precio alto
RM70/t1	RM100/t	RM150/t
1.050.000	1.500.000	2.250.000

1 = Valor equivalente de fertilizante

Tabla 10. Valor de 1 tonelada de fertilizante orgánico

Ítem	Nutrientes en el fertilizante orgánico (% MS)					
	N	P	K	Mg		
Ensayo 1	1,23	0,17	1,54	0,28		
Ensayo 2	1,24	0,16	2,55	0,33		
Promedio	1,235	0,165	2,045	0,305		
Equivalente de fertilizante en 1 tonelada de compost						
	A	RP	MOP	Kie		
0,21	0,33	0,6	0,26			
Kg equivalente en 1t	5	5	3	1		
Van del fertilizante en el compost (RM)						
RM/t		60	35	80	500	Total
Valor del fertilizante en 1t	35	2	27	6		70

- 2.2 Crédito de carbono. Ingresos por concepto de 20.000 toneladas de créditos de carbono producidas por BBPP a tres precios se indican en la Tabla 11.
- 2.3 Recuperación de aceite crudo en palma de RV igual a tasa de extracción de aceite de 0,15%.
- 2.4 Costo cero de efluentes y RV.
- 2.5 Ahorros por el cierre de lagunas de efluentes no tomados en cuenta.

Tabla 11. Ingresos por concepto de 20.000 toneladas de créditos de carbono (RM)

Precio bajo	Precio medio	Precio alto
RM30/t1	RM40/t	RM50/t
600.000	800.000	1.000.000

1 = precio muy conservador

CONCLUSIONES

El novedoso reactor Boustead Biotherm Palmass Plant™ (BBPP), diseñado para desarrollar un método y convertir efluentes y tusas en fertilizante orgánico sin generar desperdicios por medio de compostaje, fue capaz de evaporar hasta 1,14kg agua/kg RV materia seca/día en un período de siete días. La planta piloto pudo recuperar la mayoría de los nutrientes presentes en las tusas y en los efluentes sin tratar en el producto final, el fertilizante orgánico. Al mismo tiempo, más del 60% del aceite atrapado en las tusas fue recuperado. Se sospecha que el aceite recuperado puede contener cera pero esto no se midió. La ausencia de malos olores, la alta temperatura y pH logrados confirman la eficiencia del compostaje. La considerable pérdida de materia seca y la gran cantidad de agua evaporada en un período relativamente corto de siete días indican que la descomposición fue rápida y que se logró un alto nivel de biosecado.

Con base en los resultados obtenidos se ha diseñado un reactor BBPP a escala comercial para convertir los efluentes y tusas producidas en una planta de beneficio que procesa 30 toneladas de aceite por hora y produce 150.000 toneladas de RFF al año, en fertilizante orgánico por medio de compostaje y biosecado. El fertilizante orgánico producido es menos pesa-

do y menos voluminoso que los efluentes sin tratar y las tusas, y además tiene un alto contenido de nutrientes; por tanto, ahorra costos de transporte y aplicación.

El reactor BBPP, cuya patente está pendiente, reemplazará las lagunas anaeróbicas existentes y eliminará las emisiones de metano y por tanto, generará ingresos adicionales y tendrá derecho a créditos de carbono. Este sistema de cero desperdicios, mejora el reciclaje de nutrientes, ayuda a proteger el medio ambiente, y contribuye a la sostenibilidad de las plantaciones de palma de aceite. Se espera que la

planta tenga una tasa interna de retorno de entre 5 y 39% y un período de amortización entre 3 y 8 años.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los señores Advanced Agriecological Research (AAR) Sdn. Bhd., Boustead Plantations Bhd y Kuala Lumpur Kepong Bhd. Por permitir la presentación de este documento. Gracias también al Dr. Soh Aik Chin, Jefe de Investigación Agrícola, por sus valiosas contribuciones.



BIBLIOGRAFÍA

- Choi, HL; Kim, HT; Lee, JH; Richard, TL. 1995. Composting High Moisture Materials: Bio-drying Poultry Manure in a Sequentially Fed Reactor. Presented at the 3rd Korea-Japan Binational Seminar on Biological Science. Nagoya University (Japan). December 18-21.
- Chong, S. 2005. Usage of biomass wastes in EFB & Pome composting - contribution to the industry. Proceedings of the Pipoc 2005 International Palm Oil Congress (Chemistry and Technology). Palm Oil Board Malaysia. Kuala Lumpur. 373-378.
- Goenadi, DH; Away, Y; Sukin, Y; Yusuf, HH. Gunawan and Aritonang, P. 1998. Pilot-scale composting of empty fruit bunches of oil palm using lignocellulosic-decomposing bioactivator. International Oil Palm Conference. Nusa Dua Bali. September 23-25: 494-499.
- Gurmit, S. 1995. Management and utilization of oil palm by-products. *The Planter*. 71: 361-386.
- Gurmit, S; Manoharan, S; Kanapathy, K. 1982. Commercial scale bunch mulching of oil palms. *The Oil Palm in the Eighties*. Vol. II. Pusparajah, E. and Chew, PS Kuala Lumpur. Incorporated Society of Planters. 367-377.
- Gurmit, S; Manoharan, S; Toh, TS. 1990. United Plantations' approach to palm oil mill by-product management and utilization. *In: Sukaimi, Z; Zakaria, Z; Parasjothy, K; Darus, A; Rajanaido, N; Cheah, SC; Wahid, MB; Henson, IE; Dolmat, HMT.* (eds) *Proceedings of the 1989 Porim International Palm Oil Development Conference*. Porim. Kuala Lumpur. 225-234.
- Hornus, P; Ngumjeu, E. 1992. Use of empty bunches for fertilization in oil palm plantations. *Oléagineux*. 47: 250-245.
- Lim, KC; Chan, KW. 1990. Towards Optimizing Empty Fruit Bunch Application in Oil Palm. *In: Jalani (ed.) Proceedings 1989 Porim International Palm Oil Development Conference*. Porim. Kuala Lumpur. 235-242.
- Lim, KH. 1989. Trials on composting EFB of oil palm with and without prior shredding and liquid extraction. Proceedings of the 1989 Porim International Palm Oil Development Conference: Module II Agriculture. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 217-260.
- Loong, SG; Nazeeb, M; Letchumanan, A. 1988. Optimising the use of EFB mulch on oil palms on two different soils. *In: Halim, HAH; Chew, PS; Wood, BJ; Pushparajah, E.* (eds) *Proceedings of the 1987 International Oil Palm Conference*. Porim and Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur. 329-332.
- Ma, AN. 1999. Treatment of palm oil mill effluent. *In: Singh, G; Lim, KH; Teo, L; David, LK.* (Eds.) *Oil Palm and the Environment: A Malaysian Perspective*. Malaysia Oil Palm Growers Council. Kuala Lumpur. 113-126.
- Richard, TL; Choi, HL. 1996. *Optimizing the composting process for moisture removal: theoretical analysis and experimental results*. Asae Technical Paper No. 964014. Asae. St. Joseph, MI.
- Schuchardt, F; Endang, Susilawati; Purboyo, Guritno. 1998. *Influence of C/N ratio and inoculum upon rotting characteristics of oil palm empty fruit bunch*. International Oil Palm Conference. Nusa Dua Bali. 501-510.
- Schuchardt, F; Wulfert, K; Darnoko, D; Herawan, T. 2006. *Sustainable waste water (Pome) and waste (EFB) management in palm oil mills by a new process*. Preprint International Oil Palm Conference Nusa Dua Bali. Indonesian Oil Palm Research Institute.
- Yacob, S; Hassan, MA; Shirai, Y; Wakisaka, M; Subash, S. 2005. Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. *Chemosphere*. 59: 1575-1581.
- Yacob, S; Hassan, MA; Shirai, Y; Wakisaka, M; Subash, S. 2006. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Science of the Total Environment*. 366: 187-196.