

MANEJO SOSTENIBLE DE EFLUENTES Y TUSAS

en plantas de beneficio de palma de aceite
mediante un nuevo proceso

AUTORES



Héctor Miranda

Centro Federal de Investigación
Agrícola (FAL) Institute of Tech-
nology and Biosystems Engineer-
ing, Brawnschweig, Alemania

Frank Schuchardt

Federal Agricultural Research
Centre (FAL) Institute of Tech-
nology and Biosystems Engineer-
ing, Braunschweig, Germany

Klaus Wulfert

Utec Consultant for Development
and Application of Environmental
Friendly Technology mbH,
Bremen Alemania

Darnoko, Tjahjono

Herawan

Indonesian Oil Palm Research
Institute (Iopri)
Medan, Indonesia

Palabras CLAVE

Planta de beneficio de aceite
de palma, efluentes de la
planta de beneficio
(Pome, por su sigla en
inglés), racimos vacíos de
fruto, fermentación anaeróbica,
biogás, *compost*, nutrientes y
mecanismos de desarrollo
limpio.

Palm oil mill, Pome, EFB,
anaerobic fermentation, biogas,
compost, nutrients, CDM.

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

SUSTAINABLE WASTE WATER (POME) AND WASTE (EFB) MANAGEMENT

in Palm Oil Mills by a New Process

RESUMEN

Las plantas de beneficio convencionales contaminan el ambiente con gases de invernadero, como el metano, que se produce en las lagunas de efluentes (efluente de la planta de beneficio o Pome, por su sigla en inglés) y en las pérdidas incontroladas de nutrientes de residuos sólidos (racimos de fruta vacíos RV o tusas, EFB por su sigla en inglés) y efluentes. En el nuevo proceso se aplican criterios básicos para la producción sostenible de aceite de palma. Los efluentes se tratan en un redactor anaeróbico para producir biogás, mientras que con los RV se hace compostaje. Después del proceso de fermentación los efluentes se adicionan a los RV durante el proceso de descomposición. Con base en una planta de beneficio de 30 t con una producción anual de 160.000 t racimos de fruta fresca (RFF) la energía equivalente del biogás es 1.46 M. de litros de diésel, que representan un CO₂-equivalente de aproximadamente 24.075 t. El valor monetario de los nutrientes no utilizados de los efluentes, el biogás y los certificados de CO₂ (mecanismos de desarrollo limpio, MDL) es > 1.6 M. EUR por año.

SUMMARY

Conventional palm oil mills pollute the environment by the green house gas methane from the waste water (Palm Oil Mill Effluent, Pome) ponds and by uncontrolled nutrient losses from the waste (Empty Fruit Bunch, EFB) and the Pome. In a new process some basic criteria for a sustainable oil palm production can be realized. The Pome will be treated in an anaerobic fixed bed reactor to produce biogas, while the EFB will be composted. After the fermentation process all the Pome will be added to the EFB during the rotting process. On the basis of a 30 t mill with an annual input of 160,000 t fresh fruit bunch (FFB) the energy equivalent of the biogas is 1.46 Mio. Litre Diésel fuel, representing a CO₂-equivalent of about 24,075 t. The monetary value of the unused nutrients from the Pome, the biogas and the CO₂-certificates (by Cleaner Development Management, CDM) is > 1.6 Mio. Euro in one year.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de beneficio se caracterizan por ser grandes contaminantes del medio ambiente y por las pérdidas de nutrientes (Schuchardt, 2005). En la actualidad, la mayoría de las plantas de beneficio no siguen los principios y criterios para una producción sostenible de aceite de palma definidos, entre otros, por Unilever (Anónimo, 2003) y por la Mesa redonda sobre aceite de palma sostenible (RSPO, por su sigla en inglés), en especial, el Principio 5 en el que señala “Responsabilidad ambiental y conservación de recursos naturales y biodiversidad” (Anónimo, 2005):

- Criterio 5.1. Llevar a cabo una evaluación de los impactos ambientales, tanto positivos como negativos, de las plantaciones y las plantas de beneficio e incorporar los resultados a la planeación administrativa e implementarlos en procedimientos operacionales
- Criterio 5.3. Los residuos se reducen, se reciclan, se reutilizan y se eliminan en forma responsable social y ambientalmente
- Criterio 5.4. Uso eficiente de energía y maximización del uso de energía renovable
- Criterio 5.6. Desarrollo, implementación y monitoreo de planes para reducir la contaminación y las emisiones, incluyendo gases de invernadero.

En una planta de beneficio convencional los RV se reciclan aplicándolos a la plantación sin tratamiento, mientras que los efluentes se almacenan en lagunas anaeróbicas y de aireación (raras veces operando debido a la alta demanda de energía). La dificultad del mantenimiento y la falta de una técnica apropiada de deslode para las lagunas han dado como resultado tasas bajas de degradación de demanda química de oxígeno (DQO) y, por tanto, las aguas residuales que se descargan son altamente contaminantes. Las fibras y cáscaras de las frutas normalmente se usan como fuente de energía para producción de calor y energía en las plantas de beneficio (Figura 1). La ceniza se usa como fertilizante en las plantaciones.

En una producción sostenible de aceite de palma, una buena práctica es la de recuperar todos los nutrientes de los efluentes y de los residuos sólidos (racimos vacíos, RV) para usarlos en la plantación, o

usar el contenido de energía de los residuos sólidos (fibra y cáscaras) para producción de energía y así evitar la contaminación ambiental y ahorrar recursos. La producción sostenible se caracteriza por proporcionar beneficios sociales como la generación de empleo, ambiente limpio y beneficios económicos a largo plazo.

En los últimos 15 ó 20 años, se han desarrollado procesos alternativos para tratamiento de efluentes y RV como la fermentación anaeróbica en plantas de biogás (Tay, 1991; Borja *et al.*, 1994a; Borja *et al.*, 1994b; Borja *et al.*, 1995; Borja *et al.*, 1996; Hassan *et al.*, 1997; Ugoji, 1997; Wulfert *et al.*, 2002; Shirai *et al.*, 2005; Keong, 2005; Raof *et al.*, 2005; Yacob *et al.*, 2005) y compostaje de RV (Lim, 1989; Theo and Chia, 1993; Thambirajah *et al.*, 1995; Agamuthu, 1994; Schuchardt *et al.*, 1998; Schuchardt *et al.*, 1999; Goenadi *et al.*, 1998; Franke, 1998; Agamuthu, 2000; Siregar *et al.*, Suhaimi y Ong, 2001; Schuchardt *et al.*, 2002; Lord *et al.*, 2002; Kadir *et al.*, 2004; Saletes *et al.*, 2004; Schuchardt, 2005).

El proceso desarrollado es un proyecto conjunto de Indonesia y Alemania (participantes: Indonesian Oil Palm Research Institute Iopri, Medan; Federal Agricultural Research Center FAL, Germany y Utec Consultant, Germany) fueron los primeros en combinar el tratamiento anaeróbico de efluentes y compostaje de RV con cero desperdicio y la concentración de todos los nutrientes en un producto: compost (Schuchardt *et al.*, 1999; Indon. Patente pendiente. No. S 00200100211).

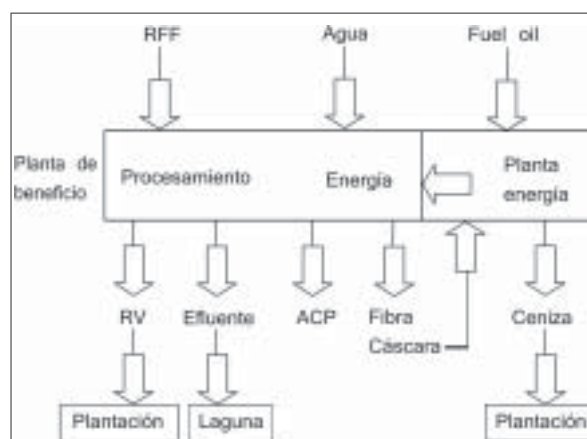
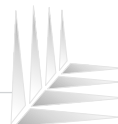


Figura 1. Diagrama de flujo en una planta de beneficio convencional.



En un detallado estudio económico, Schuchardt *et al.* (2001, 2002) demostraron que la aplicación de efluentes al suelo no es rentable y es muy costosa comparada con la combinación de tratamiento anaeróbico de efluentes y compostaje de RV, siempre y cuando la tasa de aplicación se limite a la absorción de nutrientes de las palmas. Con base en la absorción de nutrientes, la tasa máxima de aplicación de nutrientes está entre 80 y 205 m³ por hectárea/año (Tabla 1). Debido a que todas las partes de la palma de aceite (tronco y hojas) permanecen en la plantación y únicamente los racimos salen de ella, la aplicación real de estar en un rango de 14 a 99 m³. La aplicación de 1.520 m³/ha, como lo recomiendan Taryo-Adiwiganda y Poelongan (1998), puede reducir el costo de la aplicación, pero causa una sobrecarga del suelo, contaminación del ambiente por escorrentía y pérdidas por lixiviación. En resumen, es una pérdida de nutrientes y dinero.

Como resultado del protocolo de Kyoto y el MCL (mecanismos de desarrollo limpio) la producción de biogás adquirió otro valor económico a través de los certificados de CO₂ que las plantas de beneficio pueden vender.

Con base en una planta de beneficio típica de 30 t en Indonesia, este documento presenta el valor económico del biogás y los nutrientes.

RESULTADOS

Emissiones de gas de una planta de beneficio de 30 toneladas

Las lagunas de efluentes son la fuente principal de contaminación gaseosa causada por gases de

Tabla 1. Tasas de aplicación en una plantación de palma de aceite calculadas sobre el contenido de nutrientes en los efluentes y en la absorción de nutrientes de la palma de aceite y únicamente por RFF (rendimiento por año = 20 t/ha) (Schuchardt *et al.*, 2002)

Nutriente	Contenido kg/m ³	Palma de aceite		RFF únicamente	
		Absorción kg/ (ha*a)	Tasa aplicación m ³ / (ha*a)	Absorción kg/ (ha*a)	Tasa aplicación m ³ / (ha*a)
N	0,75	154	205	74	99
P	0,18	21	117	14	78
K	2,27	201	89	92	41
Mg	0,62	49	80	8,4	14
Ca	0,44	71	162	9,2	21

invernadero como el metano (el índice de potencial de calentamiento global es 23 comparado con el dióxido de carbono). Para calcular las emisiones de gas y el flujo de nutrientes se usaron datos de una planta de beneficio de 30 t en Sumatra del norte (Tabla 2). La planta de energía usa diésel al inicio únicamente ya que después se usa fibra y cáscaras para la producción de energía. La degradación de DQO y las emisiones de gas, según las investigaciones de Wulfert *et al.* (2002), se explican en la Figura 2 y Tabla 3.

Las emisiones de gas que van a la atmósfera de las lagunas de las plantas de beneficio representan un potencial de energía de 1.46 M. m³ de metano/año, o 1.46 M. de litros de diésel equivalente, calculado

Tabla 2. Datos básicos para una planta de beneficio de 30 t en Sumatra del Norte (Indonesia)

Planta de beneficio		
RFF	t/h	30
	t/d	500
	t/a	160.000
Tiempo de operación	h/d	20
	d/semana	6
	d/a	320
Consumo diésel	L/a	40.000
Datos específicos		
Aceite crudo de palma (ACP)	t/t RFF	0,20
Efluentes*	m ³ /t RFF	0,80
	m ³ /t RF	3,48
	m ³ /t ACP	4,00
DQO total	kg/m ³	50
DQO dis	kg/m ³	25
Efluente después separación	m ³ /t RFF	0,62
Lodos ²	m ³ /t RF	0,18
Racimos vacíos, RV	t/t RFF	0,23
	m ³ /t RFF	0,58
Materia seca (MS)	%	40
Fibra	t/t RFF	0,130
Cáscaras	t/t RFF	0,075
Palmiste	t/t RFF	0,055
Ceniza (de fibra y cáscaras)	t/t RFF	0,029
Consumo diésel ³	L/t RFF	0,25
Producción en un año		
Aceite crudo de palma, ACP	T	32.000
Efluentes	m ³	112.000
Racimos vacíos, RV	t	36.800
	m ³	92.000
Fibra	t	20.800
Cáscaras	t	12.000
Ceniza (fibra y cáscaras)	t	4.,640

* incluyendo condensados ² MS=7,5% ³ Generación en la planta de energía

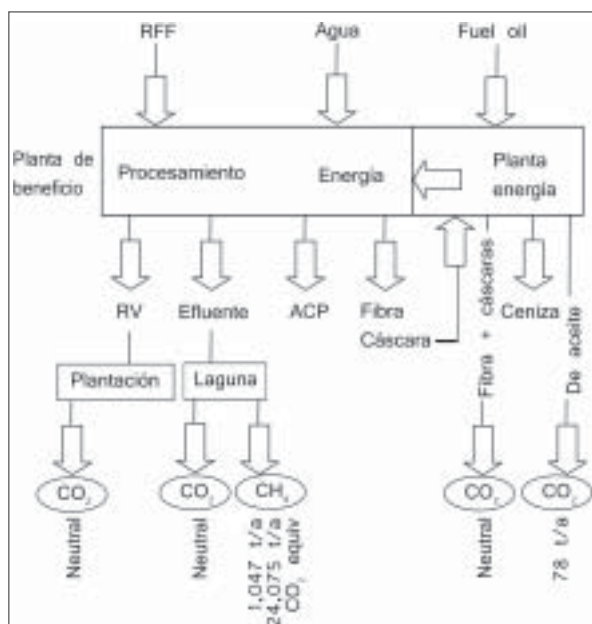


Figura 2. Emisiones de CO_2 y CH_4 de una planta de beneficio convencional de 30 t.

Tabla 3. Emisiones de gas de las lagunas de agua residual de la estación de energía en una planta de beneficio de 30 t (160.000 t/a RFF) (Wulfert *et al.*, 2002)

Degradación DQO** efluente	%	95
Degradación DQO** lodos	%	65
CH_4 de lagunas	m^3/kg CSB	0,32
	kg/kg CSB	0,229
	m^3/a	1.462.720
	t/a	1.047
	GWP*	23
CO_2 equivalente de CH_4	t/a	24.075
Diésel equivalente de 1 m^3	L	1
Diésel equivalente	L/a	1.462.720
CO_2 de lagunas	m^3/kg CSB	0,19
	kg/kg CSB	0,373
	m^3/a	859.058
	t/a	1.705
Contenido de CH_4 de biogás	%	63
Contenido de CO_2 de diésel f	$\text{kg CO}_2/\text{L}$	2,60
	t/a	104

* Índice de potencial de calentamiento global ($\text{CO}_2=1$)

** DQO: demanda química de oxígeno.

en contenido de energía. El CO_2 -equivalente del metano es aproximadamente de 24.075 t/año, una cantidad enorme comparada con 1.705 t CO_2 del biogás y únicamente 104 t CO_2 del combustible diésel.

Las emisiones de bióxido de carbono de las lagunas, de la incineración de fibra y cáscaras en la planta de energía y de los racimos vacíos, generalmente usados

como fertilizante orgánico en las plantaciones, forman un ciclo cerrado y se pueden considerar “neutrales” con relación al calentamiento global.

Flujo de nutrientes en una planta de beneficio de 30 t

En una planta de beneficio típica, únicamente los nutrientes de RV se usan en la plantación, mientras que los nutrientes de los afluentes se pierden en el agua superficial (N, P, K), el agua subterránea (N, K) y en la atmósfera (como N_2 y N_2O de la nitrificación y la desnitrificación) (Figura 3). Los nutrientes de la fibra y las cáscaras se pueden usar como ceniza en la plantación, con excepción del nitrógeno que escapa a la atmósfera durante la incineración. La composición de los efluentes y de los racimos vacíos y la cantidad total de nutrientes en una planta de beneficio de 30 t en un año se indica en la Tabla 4. Una de las

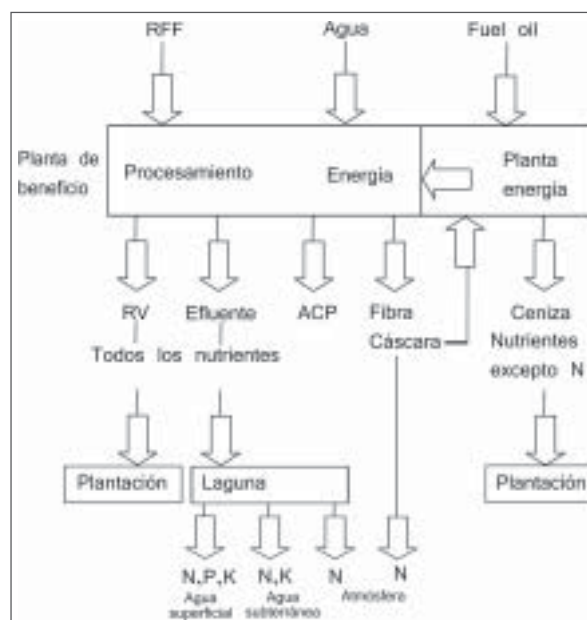
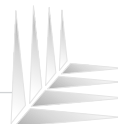


Figura 3. Flujo de nutrientes en una planta de beneficio convencional.

Tabla 4. Composición y masa de nutrientes de efluentes y racimos vacíos en una planta de beneficio de 30 t (160.000 t/a RFF)

	Efluente		RV		Total
	kg/m^3	t/a	kg/t	t/a	
N	0,75	84	3,20	118	202
P	0,18	20	0,40	15	35
K	2,27	254	9,63	354	609
Ca	0,44	69	0,72	26	96
Mg	0,62	49	0,72	26	76



razones para no usar los nutrientes de los efluentes son el alto costo de aplicación y la falta de técnicas apropiadas para la recolección de lodos.

Proceso sostenible para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos

Flujo de gas y nutrientes

En el nuevo proceso, los efluentes se usan primero en una planta de biogás y después de la fermentación en un redactor de cama fija el agua residual pretratada con todos los nutrientes se agrega a los racimos vacíos picados en la planta de compostaje (Figura 4). La relación es de aproximadamente 3.48 m³ de efluentes por 1 tonelada de RV. Durante las seis primeras semanas del proceso de descomposición, aproximadamente de 8 a 10 semanas, toda el agua residual se puede evaporar por medio del autocalentamiento y el clima cálido. Aún durante la época de lluvias la evaporación del agua es posible. El sistema de lagunas de efluentes ya no es necesario. Asimismo es posible usar los efluentes directamente, sin tratamiento, y en la planta de compostaje también.

El biogás se puede usar para producir energía dentro de la planta de beneficio o fuera de ella. El compost producido en el proceso se caracteriza por el alto contenido de materia orgánica y nutrientes (Tabla 5) para usar en la plantación o en otras áreas agrícolas, dependiendo de la localización de la planta de beneficio. La fibra y las cáscaras se pueden usar para

Tabla 5. Producción de compost en una planta de beneficio de 30 t (160.000 t/a RFF) y composición del compost de 1 t RV y 4 m³ efluente después de 10 semanas de tiempo de descomposición

Compost	t/a	18.400
	m ³ /a	57.929
Materia seca	kg/t	836
Organ. MS	kg/t	562
	kg/t MS	673
C/N	-	15
pH	-	7,5
Densidad	kg/m ³	0,45
N	kg/t MS	23,4
P	kg/t MS	3,1
K	kg/t MS	55,3
Ca	kg/t MS	14,6
Mg	kg/t MS	9,6

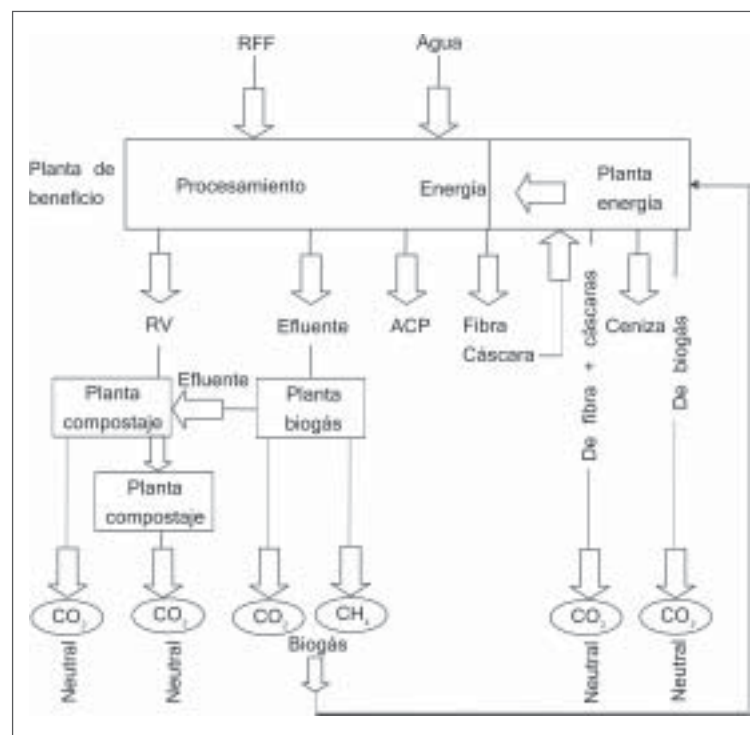


Figura 4. Flujo de gas en el nuevo concepto de un sistema cerrado para efluentes y residuos sólidos en las plantas de beneficio.

producción de energía, pero esto depende de la demanda de energía de la planta y el uso del biogás. La fibra también se puede usar en la planta de compostaje, aunque su valor económico como fuente de energía es mayor a su valor como fertilizante.

En el nuevo proceso, todas las emisiones gaseosas son neutrales (Figura 4). Si se usa biogás en vez de fibra y cáscaras como fuente de energía, se evita a la emisión de humo, partículas y nitrógeno. En el nuevo proceso, todos los nutrientes de los racimos se reciclan en la plantación (Figura 5 y Tabla 4) y la demanda por fertilizantes minerales se puede reducir.

Otro efecto del nuevo proceso es la reducción del volumen de efluentes y residuos sólidos (Figura 6). El volumen de RV y afluentes, 7.3 m³ en total, se reduce a 1.8 m³ en el compost. Calculando únicamente con base en residuos sólidos, la reducción de masa es de casi 50% y la

reducción de volumen fluctúa entre 2.9 y 1.8 m³. La reducción de masa y volumen puede bajar los costos de transporte. Debido a la mayor concentración de nutrientes en el compost, comparado con RFF, el volumen de fertilizante orgánico por hectárea se puede reducir y la distancia de transporte se puede aumentar.

Efectos sociales y económicos

Los cálculos básicos del valor monetario de los efluentes y de las tusas o racimos vacíos se presentan en la Tabla 6. Los precios son precios de mercado en Indonesia y en Europa (para certificados de CO₂) en marzo de 2006.

En una planta de beneficio convencional que usa RV en la plantación, el valor de los nutrientes es de aproximadamente 260.253 EUR (Tabla 7). Si la planta de beneficio usa el nuevo proceso de tratamiento:

- Con producción de biogás
- Compostaje de RV y efluentes (después del fermentación)
- Con valor MDL por no usar sistemas de lagunas
- Ahorro de dinero por uso de biogás en vez de diésel para producción de energía,
- Ahorro de dinero por transporte de compost en vez de RV.

El valor monetario total es de aproximadamente 1.605.540 EUR. La reducción de costos de aplicación no se calculó.

Para lograr los beneficios de los recursos de efluentes y biogás no utilizados se requiere invertir en plantas de biogás y compostaje. Para una planta de beneficio de 30 t en Indonesia la inversión es inferior a 2 M. EUR. Los costos de procedimiento para MDL en Indonesia no se conocen.

El efecto social del tratamiento descrito y la utilización del proceso es un ambiente más limpio y la oportunidad de crear empleo en las plantas de biogás

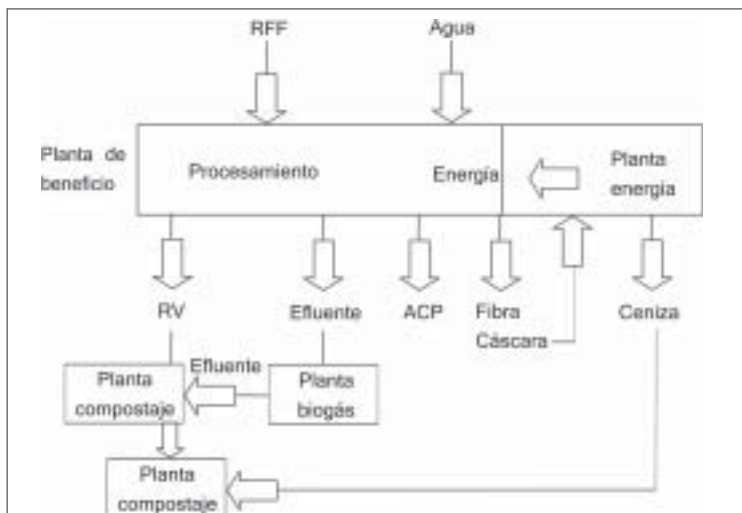


Figura 5. Flujo de nutrientes en el nuevo concepto de un sistema cerrado para efluentes y residuos sólidos en las plantas de beneficio.

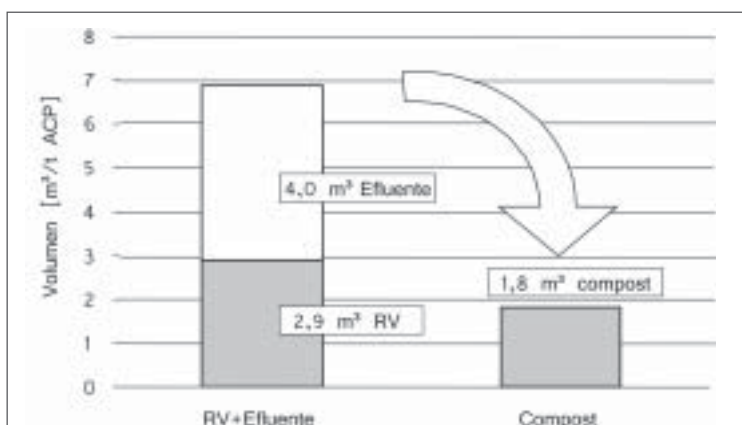


Figura 6. Volumen de flujo de efluentes, racimos vacíos (RV) y compost en el nuevo proceso de tratamiento.

Tabla 6. Precios de mercado y tasa de cambio (Indonesia Abril 2006)

N*	EUR/kg	0,49
P*	EUR/kg	1,52
K*	EUR/kg	0,57
Ca*	EUR/kg	0,10
Mg*	EUR/kg	0,63
Diésel fuel	EUR/L	0,48
Transporte	EUR/(t*km)	0,11
CO ₂ **	EUR/t	26,60
Tasa de cambio	IDR/1 EUR	11.000

* N: urea con 46% N, P: SP-36 con 12% P, K: muriato de potasio con 40% K, Ca: Dolomita con 28% Ca, Mg: Kieserite con 16% Mg)

** Mercado europeo de contado para CO₂, 15.03.2006: Spot EUAD1503-06: 26.60 EUR/t CO₂ (Anónimo, 2006).

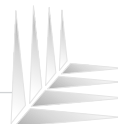


Tabla 7. Recursos usados y no usados y ahorro de costos en una planta de beneficio de 30 t en un año

Recursos usados en plantas convencionales		
RV	nutrientes ^a	260.253 EUR
Recursos no usados y ahorro de costos		
Efluente	Nutrientes ^b	233.315 EUR
	biogás ^c	699.912 EUR
MDL	Certificados CO ₂	643.174 EUR
Diésel ahorrado	Combustible	19.140 EUR
	generación energía	
Transporte ahorrado ^d	Combustible y costo de mano de obra	>10.000 EUR
Total		1.605.540 EUR

a La disponibilidad de nitrógeno se calcula con 30% únicamente, los otros nutrientes: 100%.

b La disponibilidad de nitrógeno se calcula con 50% únicamente, los otros nutrientes: 100%.

c Calculado con base en energía equivalente de diésel.

d La masa de los racimos vacíos que se usan en la plantación se reduce hasta 50% después del compostaje; el ahorro en costos de aplicación no se ha calculado.

y compostaje, aun cuando los trabajos de mantenimiento del sistema de lagunas ya no sean necesarios.

CONCLUSIÓN

La utilización de efluentes y racimos vacíos como fuente de energía y de nutrientes con los productos finales biogás y compost, puede cumplir con los criterios para la producción sostenible de aceite de palma, según la definición de RSPO (Anónimo, 2005) y Unilever (Anónimo, 2003). Con el continuo incremento de los precios de energía y nutrientes, la producción de biogás y fertilizantes orgánicos a partir de efluentes y racimos vacíos cobra cada vez más importancia en la economía de la producción de aceite de palma. La venta de certificados de CO₂ por el cambio de los sistemas tradicionales de tratamiento de afluentes en lagunas es de gran interés económico.

BIBLIOGRAFÍA

- Agamuthu, P. 1994. Composting of Goat Dung with Various Additives for Improved Fertilizer Capacity. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 10 (2): 194-198.
- Agamuthu, P; Choong, LC; Hasan, S; Praven, VV. 2000 Kinetic evaluation of composting of agricultural wastes. *Environmental Technology*. 21 (2): 185-192.
- Anonym. 2006. CO₂ Handel [online]. in < <http://www.co2-handel.de/?gclid=CLTZkueG4YMCFTwEQodnLN1A> >
- Anonym (RSPO). 2005. RSPO principles and criteria for sustainable palm oil production. In: <http://www.sustainable-palmoil.org/>
- Anonym (Unilever). 2003. Sustainable Palm Oil - Good agricultural practice guidelines. In: <http://www.unilever.com/ourvalues/environmentandsociety/publications/>
- Borja, R; Banks, CJ. 1994. Anaerobic-Digestion of Palm Oil Mill Effluent Using An Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Biomass & Bioenergy*. 6 (5): 381-389.
- Borja, R; Banks, CJ. 1994. Kinetics of Methane Production from Palm Oil Mill Effluent in An Immobilized Cell Bioreactor Using Saponite As Support Medium. *Bioresource Technology*. 48 (3): 209-214.
- Borja, R; Banks, CJ; Martin, A; Khalfaoui, B. 1995. Anaerobic-Digestion of Palm Oil Mill Effluent and Condensation Water Waste - An Overall Kinetic-Model for Methane Production and Substrate Utilization. *Bioprocess Engineering*. 13 (2): 87-95.
- Borja, R; Banks, CJ; Khalfaoui, B; Martin, A. 1996. Performance evaluation of an anaerobic hybrid digester treating palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control*. 31 (6): 1379-1393.
- Franke, M. 1998. Kompostierung von Ernteabfällen in den Tropen am Beispiel von Ölpalme und Zuckerrohr. Verlag Ulrich Grauer (ed). Stuttgart
- Goenadi, DH; Away, DH; Sukin, Y; Yusuf, HH; Gunawan, Artonang P. 1998. Pilot-scale composting of empty fruit bunches of oil palm using lignocellulosic-decomposing bioactivator. Proceedings of 1998 International Palm Oil Conference Bali (Indonesia). September 23-25: 494-500.
- Hassan, MA; Zin, NM; Malik, RA; Karim, MIA. 1997. Start-up and treatment of palm oil mill effluent with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*. 5 (1): 6-10.
- Indon. patent pend. S 00200100211: Oil palm empty fruit bunch and liquid effluent produced compost production.
- Kadir, WR; Ahmad, R; Kong, HW; Kostov, OS. 2004. Amelioration of composting process by fertilizers. *Compost Science & Utilization*. 12 (1): 80-85.
- Keong, CY. 2005. Recovering renewable energy from palm oil waste and biogas. *Energy Sources*. 27 (7): 589-596.
- Lim, KH. 1989. Trials on composting EFB of oil palm with and without prior shredding and liquid extraction. Porim Intern. Palm Oil Development Conference. September 5-9. Kuala Lumpur (Malaysia): 217-224.

- Lord, S; Hoare, MK; Thompson, NM. 2002. Composting for zero discharge - NBPOL's solution. Iopri (ed). Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 244-255.
- Raof, AA; Ohashi, A; Harada, H. 2005. Prospects of a new high-rate reversible-flow anaerobic reactor (RABR) for the treatment of palm oil mill effluent (POME). Pipoc 2005. Proc.Chemistry and Technology Conference. September 25-29: 366-372.
- Saletes, S; Siregar, FA; Caliman, JP; Liwang, T. 2004. Ligno-cellulose composting: Case study on monitoring oil palm residuals. *Compost Science & Utilization*. 12(4): 372-382.
- Schuchardt, F; Susilawati, E; Guritno, P. 1998. Influence of C/N ratio and inoculum upon rotting characteristics of oil palm empty fruit bunch. *Proceedings of 1998 International Palm Oil Conference Bali (Indonesia)* September 23-25: 501-510.
- Schuchardt, F; Susilawati, E; Guritno, P. 1999. Trials about composting of solid wastes from palm oil mills in Indonesia. *Intern. Conference Orbit 99*. September 2-4. Weimar (Germany): 155-164.
- Schuchardt, F; Wulfert, K; Damoko, D; Darmosarkoro, W; Sutara, ES. 2001. Feasibility study on full-scale plants for treatment of waste water and solid waste from palm oil mills. In: Anon. Indonesian Oil Palm Research Institute (Iopri), Medan (Indonesia).
- Schuchardt, F; Darnoko, D; Guritno, P. 2002. Composting of empty oil palm fruit bunch (EFB) with simultaneous evaporation of oil mill waste water (POME). Iopri (ed). Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*, July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 235-243.
- Schuchardt, F; Wulfert, K; Darnoko, D. 2002. A new, integrated concept for combined waste (EFB) and waste water (POME) treatment in palm oil mills - Technical, economical and ecological aspects. Anon. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 330-343.
- Schuchardt, F; Wulfert, K; Damoko, D. 2005. New process for combined treatment of waste (EFB) and waste water (POME) from palm oil mills - Technical, economical and ecological aspects. *Landbauforschung Volkenrode*. 55(1): 47-6.
- Shirai, Y; Wakisaka, M; Yacob, S; Hassan, MA. 2005. Sustainable palm biomass industry by POME Utilization. Anon. Pipoc. Proc.Chemistry and Technology Conference. September 25-29: 357-365.
- Siregar, FA; Saletes, S; Caliman, JP; Liwang, T. 2002. Empty fruit bunch compost: process and utilities. Iopri (ed). Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 225-234.
- Suhaimi, M; Ong, HK. 2001. Composting empty fruit bunches of oil palm [online]. in < <http://www.ftc.agnet.org/library/article/eb505a.html>>
- Taryo-Adiwiganda, Y; Poeloengan, Z. 1998. General oil palm fertilizer recommendation in Indonesia. Anon. *Proceedings of 1998 International Palm Oil Conference Bali (Indonesia)* September 23-25: 325-334.
- Tay, JH. 1991. Complete Reclamation of Oil Palm Wastes. *Resources Conservation and Recycling*. 5(4): 383-392.
- Thambirajah, JJ; Zulkali, MD; Hashim, MA. 1995. Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty fruit bunch; Effect of Nitrogen supplementation on the substrate. *Bioscience Technology*. 52: 133-144.
- Theo, CH; Chia, CC. 1993. Waste or by-product - The recycling aspects of oil palm cultivation and palm oil processing. Sukaimi Jeal (ed). *Porim International Palm Oil Congress*. Palm Oil Research Institute of Malaysia: 90-114.
- Ugoji, EO. 1997. Anaerobic digestion of palm oil mill effluent and its utilization as fertilizer for environmental protection. *Renewable Energy*. 10(2-3): 291-294.
- Wulfert, K; Darnoko, D; Tobing, PL; Yulisari, R; Guritno, P. 2002. Treatment of POME in anaerobic fixed bed digesters. Anon. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. Nusa Dua Bali (Indonesia) July 8-12: 265-275.
- 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(11): 1575-1581.