

Desarrollo de las Aplicaciones de los efluentes de las plantas extractoras de aceite y caucho*

B.J. Wood y K.H. Lim.

El estudio sobre el manejo de los lodos provenientes de las plantas extractoras de aceite de palma y caucho en Malasia se origina en la década de los 70, cuando la preocupación ambiental coincidió con el aumento en el número de plantas extractoras en el país. La cantidad de lodos que fluían a los ríos estaba aumentando, lo cual conducía al agotamiento del oxígeno y por consiguiente destruía los sistemas vivos. Inicialmente, los lodos se consideraban un problema que debía desecharse o evadirse. Los estudios emprendidos desde entonces han demostrado que los efluentes constituyen un recurso.

Los primeros estudios demostraban que los lodos contenían componentes que intrínsecamente no eran nocivos. La purificación química y física no era lo suficientemente eficaz. Por lo tanto, el desarrollo se canalizó hacia la digestión, su aplicación a la tierra como sustitutos de los fertilizantes y hacia los concentrados. En algunos casos, esto se hacía simultáneamente con la reducción de los lodos de descarga.

Los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma pueden digerirse en forma anaeróbica. Aunque estos no cumplen con los requisitos de descarga a los ríos (100 ppm DBO), salvo con un tiempo de detención prolongado, son apropiados para otras aplicaciones. La digestión puede realizarse en estanques abiertos o en tanques cerrados. En estos últimos, se puede captar biogas. El valor energético, ya sea para combustión directa o generación de energía, es considerable —v.g. alrededor de 10.000 litros diarios del equivalente en diesel, en una planta de 60 toneladas hora.

Los lodos pueden aplicarse a la tierra en cantidades cuidadosamente controladas. Las zanjas generalmente son ineficientes, puesto que se obstruyen y

la distribución es desuniforme o se presenta inundación. Los métodos más adecuados incluyen el de las terrazas, lo cual permite que los lodos se infiltren lentamente, o mediante el riego por aspersión y tanque. Los beneficios son la sustitución de fertilizantes y varios autores indican beneficios en la producción del 20% o más. Las proporciones y beneficios varían de acuerdo con las circunstancias y el esquema potencial requiere adaptarse a ellas.

Evidentemente, lo anterior se debe a que las plantas extractoras de aceite de palma son autosuficientes desde el punto de vista energético, por la combustión directa de los desechos sólidos, además de que el diesel para la generación de electricidad es más económico y/o fácil de usar.

En uno de los métodos diseñados para reducir la producción de lodos, el aceite de la prensa pasa al decantador sin añadir agua al decantador, en lugar del tanque, lo cual reduce la producción de lodos (70-75% del total). Los sólidos extraídos se secan con los gases de combustión para formar la torta. El aspecto económico depende en gran medida de los costos relativos de la planta. La torta tiene cierto valor como concentrado o fertilizante orgánico. El lodo que se asienta en los estanques de digestión también puede utilizarse en esta forma. Aunque pueden remplazar el fertilizante de la palma aceitera, no han producido tanto aumento en el rendimiento como el líquido.

Los efluentes del caucho tienen un contenido más bajo de nutrientes. Sin embargo, su composición varía considerablemente según el tipo de caucho que se produzca. Puede digerirse hasta llegar a obtener el estándar de descarga, incluso en estanques

* THE PLANTER. Vol. 65 No. 750. Marzo de 1989.

donde existan peces, como etapa final de "pulido". Se han aplicado tanto a la palma de aceite como al caucho, con beneficios similares al de los efluentes de palma, aunque en programas a menor escala. Las tasas dependen de la carga de nitrógeno, elemento en el cual el efluente de caucho es relativamente rico.

En los primeros días de las plantaciones, los efluentes de las plantas de beneficio y de las fábricas de caucho se desechaban y se descargaban a los ríos. Durante la época de los 60 y 70, surgió el interés mundial por la contaminación ambiental y en Malasia este movimiento se presentó simultáneamente con el aumento del número de plantas extractoras, lo cual significa grandes aumentos en los efluentes de las plantas de beneficio, con la consiguiente demanda de oxígeno, que se bombeaban a los ríos.

El balance muestra que, en pequeñas cantidades, los efluentes son benéficos para los sistemas fluviales, por cuanto proporcionan nutrientes que dan apoyo a los sistemas vivos, incluyendo las poblaciones de peces. Sin embargo, al pasar de cierto punto, se presenta una desoxigenación y los sistemas vivos normales de los ríos se destruyen.

El sistema más sencillo es el de los zarcos. Puede utilizarse con un sobrenadante digerido pero incluso así existe la tendencia al bloqueo y es difícil controlar la aplicación. Sin embargo, puede ser económico y fácil en casos de implantación inicial del sistema.

Con el fin de solucionar este problema, el Departamento Malayo del Medio Ambiente comenzó a establecer reglamentaciones de descarga, las cuales cubrían muchos de los parámetros para los efluentes. Sin embargo, probablemente la más crítica era el límite a la demanda biológica de oxígeno (DBO). Las primeras normas relativas a la palma aceitera entraron en vigencia en julio de 1978 e incluían un límite de DBO de 5000 partes por millón contra un contenido promedio de materia prima de aproximadamente 35.000. Las normas se programaron para reducciones progresivas y en enero de 1984, que probablemente es la última norma, se introdujo la cifra de 100 partes por millón.

En cuanto a los efluentes de las fábricas de caucho,

el límite de DBO era de 500 ppm en abril de 1978. Para abril de 1983, la norma redujo el nivel a 50 ppm (continúa en vigencia).

Las reglamentaciones vigentes, y cada vez más estrictas, condujeron a que se emprendiera la investigación y el desarrollo con el fin de resolver el problema. Una de las primeras conclusiones fue que el efluente no contenía elementos tóxicos intrínsecos en cantidades significativas. El efluente es una suspensión coloidal bastante viscosa y los trabajos iniciales tendían a la separación física o química de los sólidos. Cada vez se hacía más evidente que tales métodos no constituían una promesa futura, lo cual sigue siendo una realidad. Igualmente, no se encontró método alguno para retirar el nitrógeno de los efluentes del caucho.

En términos generales, puede decirse que el mayor beneficio se logra en los suelos de estructura más pobres, con menor retención de agua y contenido orgánico, y el menor beneficio donde ya las condiciones del suelo son buenas.

Los primeros trabajos emprendidos por el RRIM y otros demostraron que los efluentes del caucho podían aplicarse a la tierra con efectos benéficos y que su contenido de nutrientes constituía un sustituto de los fertilizantes no orgánicos. La mayor parte de los avances se han logrado en este contexto, tanto para los efluentes de palma como para los efluentes de caucho. El límite actual de DBO en los efluentes del aceite de palma es tal que prácticamente desvirtúa la posibilidad de descargarlos a los sistemas fluviales, salvo a costos muy altos. Sin embargo el contenido de nutrientes puede utilizarse en forma útil. La materia orgánica de los efluentes puede digerirse anaeróticamente, lo cual plantea la posibilidad de captar biogás para generar energía. Otra de las líneas de desarrollo se canaliza hacia una cantidad reducida de líquidos en los efluentes que salen de las plantas extractoras de aceite de palma.

Actualmente, estas utilidades están bien establecidas y son rentables, hasta tal punto que los efluentes, especialmente los del aceite de palma, que son más ricos, se consideran un recurso que vale la pena explotar, incluso cuando no existe

presión ambiental. El objeto de este trabajo es estudiar estas aplicaciones.

EFLUENTES DE LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

Los efluentes de las plantas extractoras del aceite de palma tienen un contenido DBO muy alto y son ricos en nutrientes esenciales (Tabla 1).

Tabla 1 PROMEDIO DE CONTENIDO QUIMICO DE LOS EFLUENTES* CRUDOS DE LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA, DIGERIDOS EN TANQUE O EN ZANJA			
Parámetro	EPEAP Crudo	EPEAP digerido en tanque	Sobrenadante en zanja
pH	3.86	7.10	7.60
BOD	35836	1912	328
COD	83356	27834	3404
T.S.**	67932	31791	7269
S.S.***	39233	22906	2365
NH ₄ ⁺ -N	50	138	131
TN	1194	1004	396
P	180	135	89
K	2270	1878	1156
Mg	615	470	294
Ca	439	365	231

Tomado de: Lim, K.H., 1988a

* Unidad en mg/l (ppm) excepto pH

**Totalsólidos

*** Sólidos suspendidos

Estándares de DBO (Departamento Ambiental de Malasia)

Descargas en los sistemas fluviales: 100 mg/litro (ppm)

Aplicación en la tierra: 5000 mg/litro (ppm)

DIGESTION ANAEROBICA

Sistema abierto

Las bacterias anaeróbicas rompen el contenido orgánico y por consiguiente reducen el DBO significativamente. Wood (1977) estudió las experiencias pasadas.

Los sistemas abiertos pueden establecerse en lagunas construidas especialmente para este fin, aunque las zanjas y los estanques abiertos excavados son igualmente eficaces (Wood, Quah y Lai, 1980). Pueden funcionar con un sistema de tapón (es decir, la alimentación en un punto mediante una banda de actividad metanogénica concentrada en un punto dado a lo largo del flujo lento), o pueden

tener diferentes puntos de entrada, con un recorrido constante y uniforme.

Generalmente, la DBO se reduce a 1000-3000 partes por millón, con un amplio rango de tiempos de detención, generalmente de 40 a 70 días (Wood y colaboradores, 1980).

La DBO que se logra no es adecuada para la descarga en los sistemas fluviales, salvo cuando se aplican tiempos de detención prolongados (de varios meses) o mediante una etapa posterior de oxigenación que es muy costosa. Sin embargo, el proceso de digestión hace que el efluente sea menos riesgoso y más fácil de aplicar, especialmente en la tierra.

La digestión abierta tiene la desventaja de que no se puede recoger el biogás y que los sólidos se sedimentan. Esto plantea la necesidad de instalar un sistema para volver a mezclarlos o de que existan dos componentes separados. Estos componentes son un sobrenadante que se retira constantemente y el lodo, el cual requiere limpieza ocasional. El lodo debe manejarse en forma separada.

Tanques

Los tanques proporcionan un mejor control del proceso, lo cual fue establecido por Etzel (1981). El sistema de tanque cerrado permite la captación de biogás. Los tanques proporcionan tiempos de renovación relativamente rápidos, debido en parte a la mezcla constante de los componentes activos y en parte a que pueden funcionar dentro del rango termofílico (es decir desde 44°C). Se pueden mantener temperaturas satisfactorias simplemente por el calor intrínseco de los efluentes del aceite de palma (70-80°C) si se cargan directamente en los tanques.

Parece ser que no existen cambios marcados en la recuperación de aceite, salvo una reducción del riesgo de "vaciado". Los costos comparativos dependen de los precios locales y mucho depende del valor que puedan tener los sólidos.

La utilización de los sistemas de tanques digestores fue estudiada en detalle por Lim, K.H. (1988a). Los datos registrados en el siguiente recuento se

aplican a plantas de 60 toneladas, las cuales, con un tiempo de detención de 10 días, requerirían una capacidad de 4.000 m³ para manejar las "producciones" promedio (suponiendo que se procesen 200.000 toneladas de RFF anuales), ó 140.000 toneladas de efluentes de aceite de palma; o, con el fin de mantener la digestión del tanque al máximo en las cosechas pico (suponiendo un 12% de rendimiento anual en el mes pico), una capacidad de 5.600 m³.

A esta última cifra debemos sumar un margen de seguridad del 5 al 10%.

Anteriormente, el proceso de mezcla se realizaba mediante hélices, las cuales consumían una cantidad considerable de energía, puesto que requerían 14 KV por 1000 m³ de capacidad operativa del digestor. En la actualidad, el mezclado se hace mediante el reciclaje de gas que se carga al mecanismo de mezcla de burbuja a través de una bomba de baja presión (Figura 1). Esto reduce el consumo de energía a 1.8 KV por 1000 m³ de volumen del digestor.

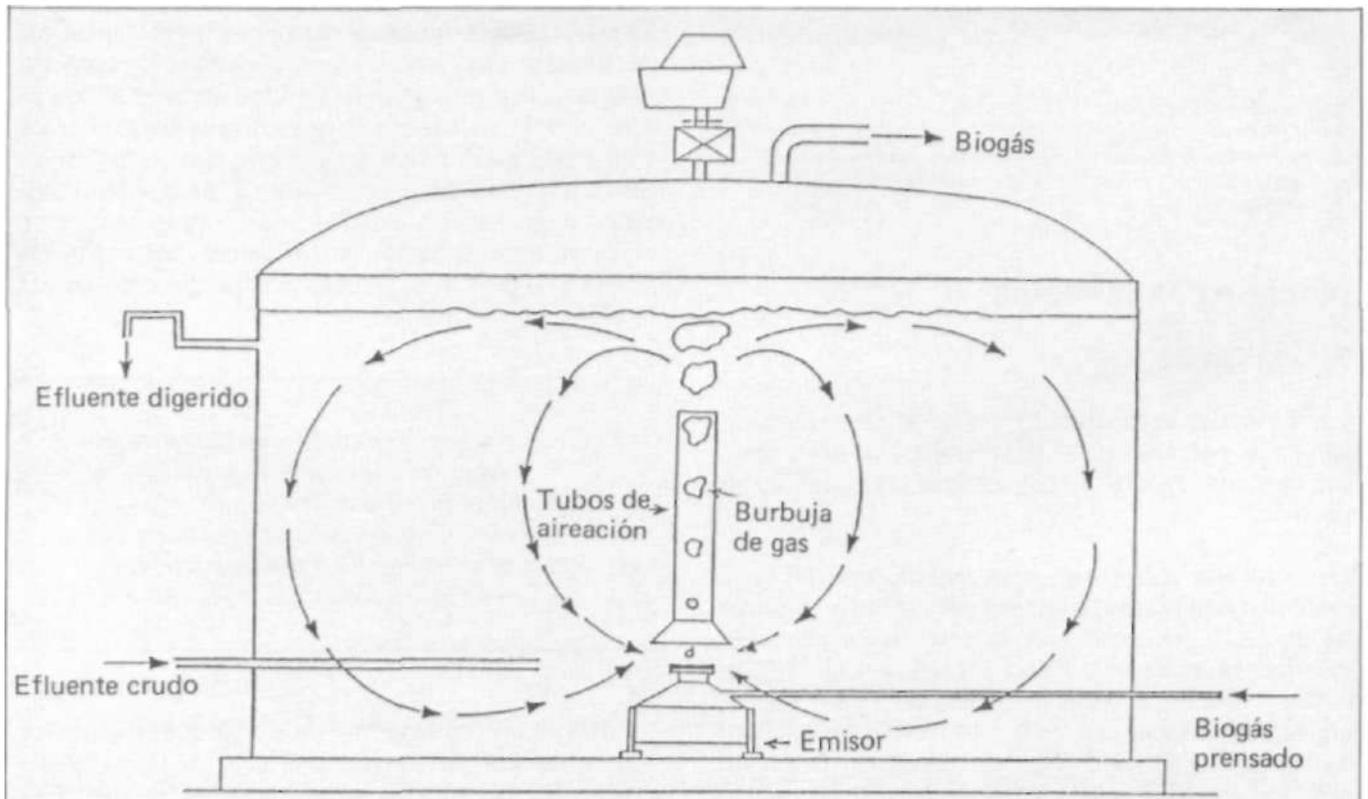
Desde 1978 existen varios tanques digestores en

Tiempo de retención	Temperatura	CH ₄ (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	H ₂ S (ppm)
17 días	44°C	53.8 – 68.9	31.1 – 46.2	672 – 2580
10 días	52°C	54.6 – 69.7	30.3 – 45.4	560 – 1570

Quah y Gillies, 1981

funcionamiento y no se han presentado problemas graves, salvo por el estallido de uno, debido al bloqueo no autorizado de la válvula de seguridad, lo cual solamente provocó la abertura de una costura soldada, pero no hubo explosión. La cantidad de gas es considerable o sea más de 4.5 millones de m³ de gas por año, en las plantas de 60 toneladas, cuando el ciclo es de 10 días. La composición aproximada aparece en la Tabla 2. La combustión directa de esta cantidad produce el equivalente a 3 mi-

Figura 1. Sistema de recirculación de gas en un tanque de digestor aeróbico cerrado. (Lim, Quah, Gillies & Wood, 1985)



liones de litros de diesel por año. También se puede utilizar para el generador con una eficiencia de 33% sobre la de combustión directa, lo cual daría aproximadamente 1000 KV de electricidad continua.

Quah, Lim, Gillies, Wood y Kanagaratnam (1983) describieron un generador piloto de 250 KV, el cual ha estado en funcionamiento durante más de seis años, con más de 20.000 horas, sin que se hayan presentado problemas operativos graves (placa 1a). Es necesario depurar el tanque para reducir el contenido de sulfuro de hidrógeno y utilizar el aceite lubricante adecuado con el fin de contrarrestar los efectos del sulfuro de hidrógeno remanente. La utilización de dos generadores de combustible por supuesto aumentaría la versatilidad y produciría energía continuamente en los períodos en que no se produzca gas por cualquier razón, incluyendo la uniformización de la capacidad por las variaciones causadas por el volumen fluctuante de la cosecha.

Se están desarrollando industrias satélites en Malasia alrededor de las plantas extractoras con el fin de aprovechar una fuente económica de energía.

Hasta el momento, el potencial energético de la digestión de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma no ha sido explotado ampliamente. Evidentemente, lo anterior se debe a que las plantas extractoras de aceite de palma son autosuficientes desde el punto de vista energético, por la combustión directa de los desechos sólidos, además de que el diesel para la generación de electricidad es más económico y/o fácil de usar.

Sin embargo, además de los generadores piloto, anteriormente mencionados, se están desarrollando industrias satélites en Malasia alrededor de las plantas extractoras con el fin de aprovechar una fuente económica de energía (placa 1b).

Por supuesto, existe un potencial considerable que aún está por desarrollarse en aquellas industrias en que los requisitos de electricidad o vapor son tales que pueden sustituirse con biogás.

Sin embargo, debemos anotar que la combustión es algo difícil cuando se requieren temperaturas muy constantes, debido a las fluctuaciones en la composición del gas, por causa de los cambios en los tiempos de detención ocasionados por el volumen cíclico de las cosechas. No obstante, esta necesidad es poco usual. El sistema de biogás podría, adecuarse muy bien a los complejos industriales remotos que quieran generar su propia energía.

Existe un potencial considerable que aún está por desarrollarse en aquellas industrias en que los requisitos de electricidad o vapor son tales que pueden sustituirse con biogás.

Aspecto Económico

Lim. K.H. (1988a) plantea costos de capital de 1.4 millones de dólares malayos para la instalación de digestores anaeróbicos adecuados en una planta de 60 toneladas, más costos anuales de operación y mantenimiento de \$51.000. Así mismo, sugiere los costos de electricidad específica, generadores y quemadores, aunque las evaluaciones económicas específicas dependerían de los costos locales, los cuales solamente pueden determinarse en cuanto se relacionen con las necesidades y el equipo disponible en una circunstancia particular. En general, sin embargo, los costos de amortización de los digestores, más los costos operativos, deberían ser más bajos que los de la compra de combustible, tanto para combustión directa como para generación de electricidad.

Con un sistema integrado de digestión de tanques de mezcla con utilización de biogás y aplicación de los efluentes a la tierra (Figura 2) la inversión se recupera en aproximadamente dos años (Lim, K.H. 1988a).

APLICACION EN LA TIERRA

Trabajos iniciales

Los intentos iniciales de aplicar los efluentes de las plantas extractoras a la tierra, a pesar de su riqueza nutritiva (Tabla 1), no parecían muy prometedoras —puesto que obstruían la tierra y formaban

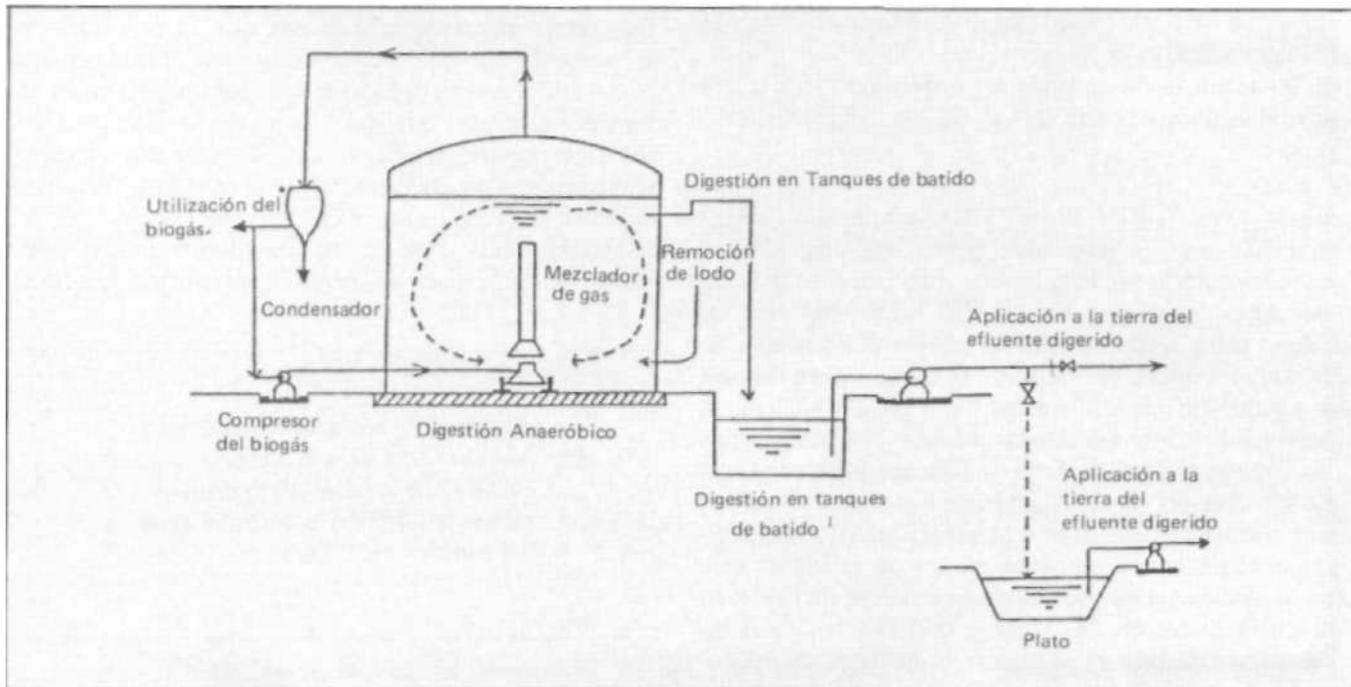


Figura 2. Sistema integrado de digestión de tanques de mezcla con utilización de biogás y aplicación de los efluentes a la tierra.

lodazales. Era imposible formar surcos con la aplicación de efluente crudo— el efluente simplemente pasaba de un extremo a otro y se lavaba. Con una prueba se demostró que siempre y cuando se aplicara el efluente crudo en pequeñas cantidades, éste se seca y se descomponía en la superficie de la tierra y se hacía más permeable que antes de la aplicación, debido posiblemente a la actividad orgánica (Wood 1977). Este es un problema menor con los efluentes de digestión, aunque de todas maneras puede haber cimentación, si no existe el control adecuado. Es preferible la aplicación periódica.

Beneficios

Las primeras pruebas sobre aplicación en la tierra se hicieron con efluentes crudos (Wood, Pillai y Rajaratnam, 1979).

Estos estudios iniciales indicaron que los efluentes podían aplicarse a la tierra en tasas razonables y sugerían que podían remplazar los fertilizantes inorgánicos con un consiguiente aumento de la producción y sin efectos contaminantes sobre la superficie o el agua de la vecindad. Desde el comienzo, la legislación ha favorecido un cierto grado de digestión antes de la aplicación a la tierra, con un límite de 5000 BDO, salvo en los programas

aprobados especialmente. Lo anterior tiene como fin reducir los riesgos de lavado de los efluentes a los ríos o canales, o de una aplicación excesiva.

Desde entonces, se ha realizado una gran cantidad de trabajos sobre los métodos de aplicación, al igual que sobre los beneficios de rendimiento y la contaminación. Esto ha confirmado los indicios iniciales. Los nutrientes que los efluentes contienen (Tabla 1) son suficientes para remplazar la aplicación normal de fertilizantes en cantidades relativamente pequeñas. Cuando se aplican estos niveles, los suplementos fertilizantes inorgánicos no aumentarán el rendimiento (Mohd, Tayeb, Lim, Zin y Abdul Halim, 1988). Así mismo, estos autores han demostrado que no existe un efecto directo marcado del agua aplicada y han confirmado los beneficios del suelo que Wood y colaboradores encontraron (1979). Otros autores también han anotado estos mismos efectos (Lim, p, mg, Chan y Chooi, 1984. Tan, 1984. Lim, K.H., 1988b).

Métodos de aplicación

Se han diseñado diversos métodos de aplicación. La aplicación de efluentes crudos, debido al problema inicial de infiltración, requería un sistema que permitiera que el efluente se quedara a una profundidad reducida durante unos días. Esto se

logró por el método de terrazas (Wood y colaboradores, 1979). Las terrazas ocupan aproximadamente una tercera parte del espacio entre cada segunda hilera de palma (alternando con las calles de cosechas). La longitud de cada terraza depende de la pendiente, para lograr una superficie jarilloneada, sin necesidad de excavaciones excesivas. Las terrazas sucesivas pendiente abajo se construyen de tal manera que el efluente fluya de una terraza a otra, una vez llegue al nivel de profundidad necesario. Estas terrazas siguen siendo útiles para la aplicación de efluentes digeridos. Se ha desarrollado otra técnica para las tierras planas, mediante la construcción de terrazas largas (Quah y colaboradores, 1983) (Placa 1c). Es interesante que las terrazas en las plantaciones, incluso sin la aplicación de efluentes sino con los fertilizantes normales, parecen aumentar el rendimiento, posiblemente por causa de la retención de agua lluvia (Mohd, Tayeb y colaboradores, 1988).

El sistema más sencillo es el de los zarcos. Puede utilizarse con un sobrenadante digerido pero incluso así existe la tendencia al bloqueo y es difícil controlar la aplicación. Sin embargo, puede ser económico y fácil en casos de implantación inicial del sistema.

Las terrazas en las plantaciones parecen aumentar el rendimiento, posiblemente por causa de la retención de agua lluvia.

Todos estos métodos dependen de una red de tubería para llevar el efluente hasta las salidas, en los puntos más altos del terreno, desde donde se distribuye mediante un zureo alimentador a las hileras de terrazas o, en tierra plana, a la terraza larga única. El método es relativamente económico y sencillo, puesto que los mismos trabajadores que controlan la distribución pueden mantener el sistema en condiciones aceptables.

Los sistemas de aspersión se han utilizado en algunos programas. Aunque rara vez se utilizan para la aplicación comercial a gran escala, se emplean para pruebas y esquemas piloto. Son más costosos de instalar y manejar y aumentan considerablemente los problemas de acceso, especialmente durante la

época de lluvias. Sin embargo, tienen la ventaja adicional de la reducción del desarrollo de maleza.

Los sistemas de tractor y tanque han sido sometidos a prueba y representan costos operativos relativamente bajos (Toh, Yeow y Tajuddin, 1984). Trabajan con un sistema de riego en puntos específicos del campo, donde descargan los efluentes para su distribución. Es necesario resolver el asunto de la logística en condiciones climáticas adversas. Las pruebas publicadas sobre la uniformidad de los beneficios de rendimiento y economía en fertilizantes a largo plazo es todavía escasa.

La reducción del rendimiento con proporciones tasas altas probablemente se deba a un exceso de nutrientes o a un desequilibrio de los nutrientes del suelo que interfiere con el consumo nutritivo.

Beneficios de rendimiento

Diversos autores que han trabajado en la aplicación de efluentes a la tierra informan que se han registrado beneficios en el rendimiento. La selección de las tasas óptimas y los rendimientos aparecen en la Tabla 3. En la mayoría de las pruebas que verifican la cantidad, se ha encontrado que existe un nivel óptimo. Por encima de ese nivel, los beneficios declinan. Sin embargo, la cantidad óptima varía considerablemente. La reducción del rendimiento con proporciones tasas altas probablemente se deba a un exceso de nutrientes o a un desequilibrio de los nutrientes del suelo que interfiere con el consumo nutritivo (Tabla 4), aunque también puede deberse a limitaciones de la capacidad de la tierra de procesar los efluentes, especialmente en el caso de los efluentes crudos, donde la reducción del rendimiento parecería comenzar con aplicaciones relativamente bajas (Chau, Watson y Lim, 1981).

Ninguno de los programas en los cuales se ha realizado pruebas ha demostrado signos de efectos adversos sobre la superficie o el agua, al compararlos con las zonas que no han sido sometidas a prueba (Lim y colaboradores 1984, Lim, K.H., 1988a, Mohad Tayeb y colaboradores, 1988).

Aspecto Económico

Los sistemas más satisfactorios y eficaces para la

Tabla 3
PROPORCION OPTIMA DE APLICACION DE EFLUENTES A LA TIERRA EN LOS CULTIVOS DE PALMA ACEITERA, COMO LO INDICAN LAS PRUEBAS PUBLICADAS

Tipo de suelo	Tipo de efuente	Sistema de Aplicación	Proporción Optima equivalente de lluvia por año/cm.	Frecuencia de aplicación rondas/año	Aumento Rendimiento año
Gredoso	Sobrenadante ¹	Terraza	10	6	20
Gredoso	Tanque ²	Terraza	6,7	4	23
Gredoso	Crudo ³	Terraza	3.3	4	8
Arcilloso	Tanque ⁴	Aspersión	2.5	6	18
Gredoso	Sobrenadante ⁵	Aspersión	18	6	19
Gredoso	Crudo ⁶	Tractor/tanque	4.6	12	12
Arcilla gredosa (laterítica)	Sobrenadante ⁷	Surco	38	12	39

1,4 - Lim, K. H. 1988b

2 - Lim, K. H. 1988a

3 - Mohd Tayeb y colaboradores 1988

5 — Lim y colaboradores, 1983

6 - Yeow y Zin, 1983

7 - Tan. 1983

Tabla 4
EFFECTOS DE LA APLICACION DE SOBRENADANTES DE EFLUENTES DE LAS PLANTAS EXTRACTORAS DE PALMA DE ACEITE SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO (0-15 cm), Y NIVELES NUTRITIVOS FOLIARES DE LA PALMA ACEITERA - 6 AÑOS DE APLICACION

Propiedades	Control*	Equivalente pluvial por año		
		5 cm.	10 cm.	20 cm.
Suelo (Mc/100 g)				
pH	4.48	5.96	5.98	6.65
K	0.35	0.96	1.05	1.30
Mg	0.46	2.12	2.19	2.24
Ca	0.48	1.61	1.65	2.09
CEC	4.84	5.68	5.89	5.99
Nutrientes foliares (‰)				
N	2.52	2.55	2.58	2.56
P	0.16	0.16	0.16	0.16
K	0.90	0.90	0.87	0.83
Mg	0.24	0.32	0.35	0.38
Ca	0.76	0.82	0.83	0.83
B (ppm)	12	15	13	13
Rendimiento RFF/ton/ha. (5 años)	135	151	162	148

* Control — Fertilizantes comunes de la plantación
 Tomado de Lin, K. H. 1988b

distribución controlada del efluente digerido, ya sea "interno" (de los tanques de mezcla o con todos rechazados) o sobrenadante, son los de terrazas y aspersión. Estos dos sistemas requieren erogaciones de capital considerables por las bombas y la tubería que se requieren. Estos dos sistemas representan costos de \$4.500 por hectárea (Lim y colaboradores, 1984; Lim, K.H., 1988a). El sistema de

aspersión cuesta aproximadamente \$200 por hectárea por año y el de terrazas aproximadamente \$150 por hectárea por año. Sin embargo, al descontar el capital en 10 años, o incluso en cinco, los ahorros por concepto de fertilizantes únicamente llegan a niveles óptimos que justifican el programa, aparte del beneficio potencial de rendimiento. Puesto que los efluentes tienen que manejarse y

administrarse de todas maneras, es obvio que estos procedimientos pueden considerarse no solamente benéficos sino deseables desde el punto de vista económico.

Los beneficios en el rendimiento son viables en relación con las cantidades de efluentes aplicados y con los tipos de siembras.

Al escoger el programa, las plantaciones deberán tener en mente no solamente la cuestión de los costos sino también la contabilidad, la logística y la facilidad operativa del sistema dadas las circunstancias. Así mismo, los beneficios en el rendimiento son viables en relación con las cantidades de efluentes aplicados y con los tipos de siembras, como lo indican los diferentes trabajos mencionados aquí. Los niveles agronómicos óptimos que aparecen en la Tabla 3 no necesariamente constituyen el óptimo económico. Cuando los beneficios son altos, el área de aplicación deberá ampliarse al máximo con el fin de obtener el mayor beneficio. Sin embargo, si son bajos, sería mejor mantener los costos bajos, concentrando la aplicación, aunque no hasta que el punto en que los efectos sean nocivos por causa de las inundaciones (placa 1d).

Para tomar una decisión al respecto, las plantas extractoras y las plantaciones en las cuales éstas están ubicadas tendrán que remitirse a las pruebas de suelos realizadas en suelos similares. Entérminos generales, puede decirse que el mayor beneficio se logra en los suelos de estructura más pobres, con menor retención de agua y contenido orgánico, y el menor beneficio donde ya las condiciones del suelo son buenas.

REDUCCION DE LA PRODUCCION DE EFLUENTES

Los lodos de las plantas extractoras de aceite de palma se derivan del agua caliente que se añade al aceite crudo proveniente de las prensas con el fin de separar los materiales no grasos. En un proceso nuevo (Jorgensen y Gurmit, 1982; Lim. C.L., 1988), en lugar de añadir agua, el aceite pasa a un decantador, que realiza la separación parcial. Luego, el aceite se deja reposar y el agua del fruto se

separa junto con los sólidos no grasos restantes. El agua se recicla a la prensa. La producción total de efluentes de las plantas se reduce casi un 70% (el balance es el condensado del esterilizador, el agua del lavado y el agua utilizada para la separación del palmiste).

Los sólidos del decantador contienen un 80% de humedad y se secan en un secador rotativo que utiliza los gases calientes de combustión de las calderas. El producto, o sea la torta de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, tiene una utilización potencial como fertilizante orgánico sólido o concentrado para animales.

Aspecto Económico

Los costos de este proceso no se evalúan en detalle en la literatura. Los principales beneficios son reducir la utilización de agua de la planta en un 30%, lo cual puede ser útil cuando existen restricciones de acueducto y en caso de que la aplicación sea problemática, puesto que se aplica solamente una pequeña cantidad de efluentes parece ser que

La torta de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, tiene una utilización potencial como fertilizante orgánico sólido o concentrado para animales.

no existen cambios marcados en la recuperación de aceite, salvo una reducción del riesgo de "vaciado". Los costos comparativos dependen de los precios locales y mucho depende del valor que puedan tener los sólidos.

LOS SOLIDOS COMO FERTILIZANTES

Torta de efluentes

Los informes iniciales sugieren que la torta de efluentes obtenidos mediante el proceso descrito anteriormente sería útil en las cosechas anuales (Jorgense y Gurmit, 1982). Es preferible descomponerla primero (Kanapathy, Jorgense y Gurmit, 1983). Estos últimos informaron sobre las pruebas iniciales en palmas de 30 a 60 kilos por año, pero los resultados no estaban disponibles en ese momento.

Torta de Lodo

Los sólidos que se decantan en los estanques digestores, en caso de no ser remezclados para su aplicación a la tierra, deben limpiarse ocasionalmente. Los estanques de las plantas extractoras de 60 toneladas podrían producir 30.000 toneladas de lodos líquidos cada año. Generalmente, el lodo se vacía en la tierra, se seca y gradualmente se descompone. Puede recuperarse en la etapa de secado y esta torta de lodo, con una humedad aproximada del 50% constituye un fertilizante sólido orgánico que es útil para muchos fines (placa 1e). Es mejor darle un nivel nutritivo específico añadiendo la cantidad adecuada de sales inorgánicas. Teoh y Chew (1984) realizaron pruebas utilizando torta de lodo tanto en viveros de cacao como de palma aceitera. Los resultados fueron el crecimiento más rápido y sano de los esquejes del cacao. Se establecieron curvas de respuesta que demostraban que el nivel óptimo era en una proporción de una parte de lodo por cinco partes de tierra. En los viveros de palma, el óptimo es de 1.2 kilos por bolsa de polietileno.

Pruebas en palma africana

Mohd, Tayeb y colaboradores (1988) informaron la utilización de estos dos materiales como tratamiento en una prueba que incluía la aplicación de efluentes líquidos. Los sólidos (la composición química aparece en la Tabla 5) se voleaban en los platos a 50 kg por palma, una vez al año. Los contenidos de nutrientes eran comparables con los de los programas de fertilizantes inorgánicos. Sin embargo, el potasio era más bajo que en los tratamientos con efluentes líquidos. Aunque los rendimientos obtenidos con los sólidos fueron similares a los

Los estanques de las plantas extractoras de 60 toneladas podrían producir 30.000 toneladas de lodos líquidos cada año. Generalmente, el lodo se vacía en la tierra, se seca y gradualmente se descompone.

de los lotes de control en los cuales se aplicaban fertilizantes inorgánicos en la cantidad establecida por la plantación, no hubo aumentos en el rendimiento, como sí ocurrió en los tratamientos con efluentes líquidos.

Aspecto Económico

Podemos suponer que el valor de estos materiales como fertilizantes, es comparable al de los fertilizantes inorgánicos, sobre la base de una hectárea. En la zona donde se realizó la prueba anterior, el costo promedio anual de los programas de fertilización es aproximadamente de \$450 por hectárea. Se presume que el costo será de \$60 por tonelada. Las plantas de 60 toneladas por hectárea producirían potencialmente aproximadamente 9000 toneladas de torta de efluentes o 3000 toneladas de lodo por año. Por supuesto, el costo puede ser mucho más alto en los casos en que se requieren altos niveles de fertilizantes orgánicos, como el del cultivo de vegetales.

CONCENTRADOS

Concentrado Directo

Nicol y colaboradores (citado por Wood, Seow y Tan, 1976) informaron que los efluentes administrados directamente a los cerdos podían reemplazar parte de la alimentación, con lo cual éstos crecen en forma satisfactoria. Esta posibilidad no ha sido ampliada. Sin embargo, la principal conclusión práctica es que se demostró que el material no era tóxico. Obviamente, para utilizar todo el efluente de una planta extractora, se requiere un hato muy grande y comprar una gran cantidad de concentrado a granel y así, poder establecer una industria pecuaria importante. La economía de esta aplicación es dudosa. Además existe un problema adicional de manejo de efluentes. Delzell (1977) demostró que éstos podían utilizarse para alimentar los búfalos que se emplean para la cosecha.

	Torta de lodo*	Harina de aceite de palma**
PH	6.93	—
% N	2.77	2.05
% P	0.65	0.35
% K	0.52	2.85
% Mg	0.45	0.70
% Ca	0.41	0.70
% C	17.18	—

* Investigaciones Ebor, datos no publicados

** Kanapaty y colaboradores, 1981

Tabla 6
PROPIEDADES DE LOS EFLUENTES TÍPICOS DE LAS FABRICAS DE CAUCHO

Propiedades	Concentrado de latex**	Lámina de caucho**	Bloque de caucho**
pH	6.5	5.4	5.7
COD	2.090	4.273	7.552
BOD	85	2.283	1.670
TN	278	190	320
NH ₄ ⁺ -N	200	38	70
P	64	111	147
K	156	335	450
Mg	30	56	87
Ca	6	21	5
Total sólidos	6.035	4.100	5.000
Sólidos suspendidos	360	100	500

* - Lim, K. H., 1988a

** - Wood y colaboradores, 1976

Nota: Concentrado de latex -tratado durante 7 días en estanque
Lámina y bloque de caucho - efluente crudo

Concentrado Seco

La torta de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma tiene potencial como concentrado. Kanapathy y colaboradores (1983) mencionaron que ha sido utilizada por usuarios particulares, aunque la composición variable puede constituir una desventaja. Webb, Rajagopalan, Cheam y Dhiauddin (1975) plantearon la posibilidad de mezclar los lodos efluentes con otros carbohidratos y secarlos mediante un proceso de centrifugación y calor. Aunque la utilidad de este material como concentrado se demostró, no existen avances adicionales, probablemente por razones económicas debidas en parte a los grandes requisitos de energía de este proceso.

EFLUENTES DE LAS FABRICAS DE CAUCHO

Producción de efluentes

Existen diversos tipos de caucho y los efluentes varían considerablemente tanto en cantidad como en contenido nutritivo (Tabla 6). Los efluentes de las fábricas de caucho pueden almacenarse en estanques hasta que llegan al punto en que pueden desaguarse en los ríos. En la etapa final, pueden utilizarse para la cría de peces que, aunque no pueden producirse en gran cantidad, pueden constituir un alimento para los trabajadores de la plantación.

Las algas pueden cultivarse en estanques, recuperar-

se y secarse en forma de torta, v.g. la Chlorella (Wood y colaboradores, 1976). Sin embargo, estas no cumplen con los requisitos suficientes para el consumo humano. Además, no es económico producirlas para concentrado.

Aplicaciones en la tierra

Tan, Pillai y Barry (1976) informaron sobre la aplicación de los efluentes "mixtos" de las fábricas de caucho (diferentes tipos de caucho) a las palmas aceiteras. La respuesta fue positiva, en una proporción equivalente a 2.5 kilos anuales de nitrógeno por palma. Sin embargo, las proporciones más altas conducían a una reducción en el rendimiento. Tan y Pillai (1976), informaron sobre las respuestas positivas en el caso del caucho, puesto que se evita la formación de coronas pesadas (con la reducción consiguiente de las bajas por causa del viento) por el alto consumo de nitrógeno. Se obtuvieron rendimientos más altos, especialmente en conjunción con la estimulación. Mohd, Nazeeb, Lim, Loong y Ho (1984) demostraron que el efluente del caucho podría ser benéfico para los viveros de palma aceitera.

*Existen diversos tipos de caucho
y los efluentes varían considerablemente
tanto en cantidad como en
contenido nutritivo.*

Antes de su aplicación en las plantaciones, es importante retirar las partículas residuales de caucho del efluente, utilizando una serie de trampas, lo cual minimiza el bloqueo del sistema de tubería (Lim, K.H., 1988a). En las palmas maduras, Mohd, Nazeed y colaboradores (1984) encontraron aumentos del 20% durante un período dado de tiempo, con un equivalente de 30 cms. de lluvia por año de efluentes laminares de caucho (equivalente a aproximadamente 2 kg/palma/año de nitrógeno. Lim, K.H. (1988a) informó sobre un aumento del 5 al 10% en el rendimiento del caucho cuando se aplicaban efluentes concentrados de latex.

Digestión

Existe la posibilidad de que surjan problemas de olor en el campo, debido al alto contenido de azu-

fre de los efluentes de las fábricas de caucho. Sin embargo, esto puede evitarse mediante la digestión previa. No parece existir proyectos para la generación de cantidades útiles de biogás, salvo en el caso de los efluentes de las grandes fábricas de concentrado.

Aspecto Económico

La cantidad de efluentes producida en las fábricas de caucho es mucho más alta que en las plantas extractoras de aceite. Sin embargo, la concentración de nutrientes es menor. Por lo tanto, con ellos pueden tratarse áreas de tierra más pequeñas. No obstante, los ahorros en fertilizantes más los aumentos de rendimiento, tanto en el caucho como en la palma aceitera, generalmente cubren los costos de aplicación, al tiempo que resuelven el problema. La composición de los efluentes varía considerablemente y parece ser mejor calcular la cantidad a ser aplicada por hectárea sobre la base de la equivalencia de nitrógeno del efluente específico. Sobre la base de las pruebas realizadas, lo correcto será un nivel de aproximadamente 2.0-2.5 kgs. de nitrógeno por palma por año, o, para el caucho, 100 kgs. de nitrógeno por hectárea por año.

*Los efluentes de las plantas
extractoras de aceite de palma
podrían constituir un buen sub-estrato
para el cultivo de microorganismos.*

DISCUSION

La utilización adecuada de los efluentes de las plantaciones ha llegado a un punto tal que ésta constituye por lo general una alternativa rentable. En estos casos, lo mejor es tomar las decisiones correspondientes sobre la base de las consideraciones económicas.

Así mismo, se están explotando algunas aplicaciones potenciales adicionales que no hemos discutido. Por ejemplo, los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma podrían constituir un buen sub-estrato para el cultivo de microorganismos, lo cual podría conducir a la generación de productos de alto valor, como las proteínas unicelulares, —las enzimas, etc. Hasta la fecha, no exis-

ten posibilidades lo suficientemente económicas. Sin embargo, la tecnología está progresando cada vez más. Mediante la aplicación a la tierra, los cultivos que producen el efluente, es decir la palma aceitera y el caucho, no necesariamente son los únicos que podrían utilizar en forma económica dichos efluentes. Aquí hemos mencionado los trabajos encaminados a optimizar la utilización de los sólidos orgánicos producidos por las plantas extractoras de aceite de palma en los cultivos anuales y los trabajos iniciales realizados con los efluentes de las fábricas de caucho demostraron que constituyen un excelente fertilizante para los pastos de forraje (Tan y Pillai, 1976).

*Se ha demostrado que
el potencial energético
y el contenido de nutrientes
pueden explotarse en forma separada.*

La aplicación a la tierra sigue siendo la mejor forma de utilizar los efluentes del aceite de palma y el caucho. Por lo tanto, el Departamento Ambiental de Malasia está estableciendo los parámetros al respecto, en los cuales recomienda límites máximos de nitrógeno de 650 kg. por hectárea por año para la palma aceitera y de 10 kgs. por hectárea por año para el caucho.

En lo que se refiere a los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, es económicamente atractivo establecer un esquema integral de digestión de biogás, seguido por la aplicación a la tierra. Así mismo, se ha demostrado que el potencial energético y el contenido de nutrientes pueden explotarse en forma separada. La producción de efluentes de una planta extractora es aproximadamente el 70% de la carga de racimos de fruta fresca. Sin embargo, también se producen otros desechos sólidos, especialmente fibras, en un 13% y el raquis en un 25%. Estos dos también producen energía y tienen un potencial nutritivo, aunque en la actualidad esta explotación tiende a ser auto excluyente. La fibra se quema en las calderas (a eso se debe que el proceso de extracción sea autosuficiente desde el punto de vista energético), y los raquis se aplican directamente a la tierra para fertilización (Loong, Mohd, Nazeeb y Let Chumannan, 1988) o se queman. Wood y Yusof Basiron (1984)

mencionan la posibilidad de explotar en forma separada tanto el potencial energético como nutritivo de estos subproductos. Si se desarrollara un proceso, la producción de efluentes de las plantas extractoras podrían fertilizar el 35-40% del área (probablemente de más alto rendimiento) y existiría un equivalente energético de 20-25 millones de litros de diesel en una planta extractora de 60 toneladas por hectárea que procese 200.000 racimos de fruta fresca anualmente. Cada día se están desarrollando más tecnologías para la digestión de sólidos orgánicos y continúan siendo una meta potencial valiosa para la investigación y el desarrollo de las plantaciones, en forma paralela a los desarrollos que ya se han implantado con los efluentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las plantaciones Sime Darby por haber autorizado la publicación de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

- CHAN, K.W., I. WATSON & K.C. LIM, (1981). Use of oil palm waste material for increased production. *The Planter*, 57: 14-37.
- DALZELL, R. (1977). A cune study on utilization of effluent and by-products of palm oil production by cattle and buffaloes on an oil palm estate. *Symposium on Feedingstuffs for Livestock*, Kuala Lumpur. Preprint No. 12, 19 pp.
- ETZEL, JE. (1981). Palm oil wastewater treatment alternatives and their relationship to gazetted regulations in Malaysia. p. 28-48 in *Proc. 3 mopc Symp. Treat. Disp. Palm Oil Mili Effl. 1977-1978*. pp. i-vii, 1-185.
- JORGENSEN, H.K. & GURMIT SINGH, (1982). An introduction of the decanter-drier system in the clarification station for crude oil and sludge treatment, p. 623-635 in *The Oil Palm in Agriculture in the Elghlies*, Vol. II, (E. Pushparajah & P.S. Chew (ed)), Palm Oil Research Institute of Malaysi & Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. pp. i-xi, 1-678.
- KANAPATHY, K., H.K. JORGENSEN & GURMIT SINGH (1983). Preparation and utilization of dried palm oil mill effluent (POME). p. 45-48 in *Proc. of Nat. Workshop on Oil Palm By-Prod. Utilization*, Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur. pp. i-vii, 1-150.
- LIM, C.H., T.C P'NG, K.W. CHAN & S.Y. CHOOI (1984). Land application of digested palm oil mili effluent (POME) by sprinkler system. p. 72-89 in *Seminar land application of palm oil and rubber factory effluents*, (K.H. Lim, A.T. Bachik & Y.C. Poon (ed)), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur. pp. i-xiii 1-259.
- LIM, C.L. (1988). The application of decanters for palm oil clarification. p. 155-176 in *Proc. 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences. Progress and Prospects, conf. II: Technology*. (A.N. Ma, J.H. Maycock, L.M.L. Sieh & M.A. Augustine (ed)), Palm Oil Research Institute of Malaysia & Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. pp. i-xviii, 1-488.
- LIM, K.H. (1988a). Integrated systems for treating and utilizing plantation ciffuents: palm oil mill effluent as a specific example. p. 3-3-313 in *Anaerobic digestion 1988, Proc. of the 5th International Symposium of Anaerobic Digestion* held in Bologna. Italy, 22-26 May, (E.R. Hall & P.N. Hobson (ed)), Pergamon Press, Oxford, p. i-x, 1-517.
- LIM, K.H. (1988b). Trials on long-term effects of application of POME on soil properties, oil palm nutrition and yields. p. 575-595 in *Proc. 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences, Progress and Prospects, conf. I: Agriculture*, (Abdul Halim b. Hj. Hassan, P.S. Chew, B.J. Wood & E. Pushparajah (ed)). Palm Oil Research Institute of Malaysia & Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. pp. i-xvi, 1-738.
- LIM, K.H., S.K. QUAH, D. GILLIES & B.J. WOOD (1985). Palm oil mili effluent treatment and ut'lization in Sime Darby Plantations —the current position. p. 42-52 in *Proc. of the Worksp. on review of palm oil mill effluent technology vis-a-vis* Dept. of Environment standard, 31 July, 1984, Palm Oil Research Instit. Malaysia, Kuala Lumpur. p. i-vi, 1-114.
- LOONG, S.G., MOHO' NAZEEB & A. LETCHUMANAN (1988). Optimizing the use of EFB mulch on oil palmson two different soils. p. 605-639 in *Proc. 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences, Progress and Prospects, conf. I: Agriculture*. (Abdul Halim b. Hj. Hassan, P.S. Chew, B.J. Wood & E. Pushparajah (ed)), Palm Oil Research Institute of Malaysia of Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur. pp. i-xvi, 1-738.
- MOHD. NAZEEB, K.H. LIM, S.G. LOONG & C.Y. HO (1984). Trial on the effects of rubber factory effluent on oil palms. p. 61-69 in *Seminar land application of palm oil and rubber factory effluents*, (K.H. Lim, A.T. Bachik & Y.C. Poon (ed)), Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur. pp. 1-xxiii, 1-258.
- MOHD. TAYEB DOLMAT, K.H. LIM. ZIN ZAWAWI ZAKARIA & ABDUL HALIM HASSAN (1988). Recent studies on the effects of land application of palm oil mill effluent on oil palm and the environment, p. 596-604 in *Proc. 1987 International oil palm/palm oil conferences: Progress and Prospects, conf 1: Agriculture*, (Abdul Halim b. Hj. Hassan, P.S. Chew, B.J. Wood & E. Pushparajah (ed)). Palm Oil Inst. Malaysia & Incorporated Society of Planters, Kuala, Lumpur. pp. i-xvi, 1 738.