

Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso*

Palm Oil Mill Effluent Treatment-Converting a Residue into a Resource

CITACIÓN: Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 31-37.

PALABRAS CLAVE: aguas residuales, POME, plantas de beneficio de aceite de palma, biogás, híbridos, tasa de extracción.

KEYWORDS: Effluents, POME, oil palm mills, biogas.

*Artículo original recibido en español.



MARKUS ALTHAUSEN

Presidente, ClimeCo International Corp
President, ClimeCo International Corp
ma@climecointernational.com

Las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma o *Palm Oil Mill Effluent* (POME, por su sigla en inglés), requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales. Al mismo tiempo, un tratamiento moderno de POME puede convertir la alta carga orgánica en biogás, una mezcla de gases con un valor energético de 6 kWh/m³. Adicionalmente, este tratamiento produce cantidades sustanciales de abono orgánico estabilizado y agua purificada. Así, el residuo POME se puede convertir en un recurso para la planta de procesamiento misma y sus plantaciones.

Las plantas de beneficio de aceite de palma producen grandes cantidades de aguas residuales,

sobre todo en la esterilización de la fruta y en la clarificación del aceite. En promedio una planta típica produce aproximadamente 0,8 m³ de efluente (POME) por cada tonelada procesada de racimos de fruta fresca (*Fresh Fruit Bunches* o FFB, por sus siglas en inglés).

Por tanto, una planta extractora mediana con 150.000 tFFB por año (30 tFFB/hora) produce aproximadamente 120.000 m³ de POME al año o 450 m³ por día. Este volumen corresponde a una producción de más de cuatro piscinas olímpicas (50 metros de largo, 25 m de ancho y 2 m de profundidad) cada mes.

El POME es un líquido de color amarillo-marón con características agresivas:¹

- Alta carga orgánica (promedios):

Demanda química de oxígeno (DQO) de 55.000 mg/L.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 25.000 mg/L.

Sólidos suspendidos de 20.000 mg/L.

- Temperatura muy alta: 80 °C.
- pH ácido, entre 4 y 5.

Como consecuencia, el POME requiere un tratamiento adecuado antes de su uso en el riego de las plantaciones o su descarga en aguas superficiales.

Tratamiento típico del POME en lagunas abiertas

Es un sistema biológico en donde diferentes tipos de bacterias digieren materia orgánica en una serie de lagunas abiertas (una laguna anaeróbica, seguida por una laguna facultativa y una laguna aeróbica al final del proceso) (Figura 1).

Con un buen diseño (sobre todo, suficiente tiempo de retención) y buen mantenimiento (remoción de lodos), estos sistemas pueden reducir la DQO del efluente a aproximadamente 1.500 mg/L.

La gran ventaja de estos sistemas es su bajo costo. Sin embargo, estos son sistemas estáticos, en general, sin mezcla interna y sin temperatura controlada. Por tanto,

Figura 1. Sistema de lagunas abiertas para almacenamiento de efluentes.



las bacterias no tienen condiciones ideales para la digestión (por ejemplo, necesitan temperaturas constantes entre 30 y 37 °C, así como alimentación continua y homogenizada). Como consecuencia, el proceso en estos sistemas de lagunas abiertas no es muy eficiente. Algunas especificaciones de su deficiencia son:

1. Necesitan más de 35 días de retención y así grandes volúmenes y superficies; una planta de 150 t FFB/año necesita lagunas de más de 17.000 m³.
2. Los lodos de la materia orgánica digerida se acumulan en el fondo (10-15 m³ por día) de la laguna, reduciendo el volumen disponible en forma continua.
3. Las inversiones y gastos en estos sistemas no producen retornos ni ingresos.
4. Emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera y producen fuertes olores.

Tratamiento moderno del POME

A pesar de sus propiedades agresivas, el POME tiene un fuerte potencial como recurso: en el proceso de digestión anaeróbica del POME las bacterias emiten una mezcla de gases (en su mayoría, 60 % metano y 35 % dióxido de carbono) con un potencial energético de 6 kilovatios hora (kWh) por metro cúbico.

Esta mezcla de gases (el biogás) se puede capturar y utilizar como combustible en la producción de energía. Cada metro cúbico de POME tiene un potencial entre 25 y 35 m³ de biogás (dependiendo de la DQO del POME) o 150-210 kWh de energía.

1 Abdurahman, Rosli, Azhari, 2013.

1ª generación - lagunas cubiertas

En la primera generación del tratamiento moderno de POME en plantas de beneficio cubrieron sus lagunas con tapas flexibles para capturar el biogás (Figura 2).

Sin embargo, estos sistemas estáticos sin control de temperatura tienen los mismos problemas que las lagunas abiertas (baja eficiencia, grandes superficies, acumulación de lodos en el suelo, etc.) Además, estos sistemas simples (construidos con plástico de polietileno de alta densidad, HDPE) solo tienen una vida útil de 7 a 10 años y producen una variable calidad y cantidad de biogás.

2ª generación - reactores mezcla continua

Esta generación de tratamiento moderno del POME utilizó biorreactores europeos muy avanzados, con mezcla y alimentación continua, calefacción, remoción permanente de lodos, automatización avanzada, calidad y cantidad de biogás altas y estables, y una construcción muy robusta en hormigón armado, con una vida útil de más de 25 años (Figura 3).

Sin embargo, el diseño de estos biorreactores de mezcla continua o *Continuously Stirred Tank Reactor*

(CSTR, por sus siglas en inglés) originó en Europa, sustratos con más sólidos (por ejemplo, purinas para cerdos o vacas), en cantidades más pequeñas que el POME. Como consecuencia, estos reactores CSTR requieren grandes inversiones iniciales y no han tenido mucho éxito en el tratamiento de efluentes.

3ª generación - sistemas multietapas

La tercera generación del tratamiento de POME combina diferentes tipos de biorreactores con diferentes tipos de digestión anaeróbica en un sistema 100 % adaptado a las características de POME (Figura 4).

En un primer paso un reactor CSTR reduce la carga orgánica de hasta 120.000 mg/L de DQO a aproximadamente 15.000 mg/L en un período de 15 días, produciendo así 80 % del biogás del sistema.

En el siguiente paso, el POME es parcialmente digerido al salir del CSTR y pasa por un biorreactor de flujo ascendente (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB*), donde las bacterias se encuentran en un manto de lodos, compuesto por pequeñas bolas de aproximadamente 1 mm de diámetro que ofrecen una gran superficie a las bacterias y, por tanto, aumenta la densidad de las bacterias en el proceso. Pasando este

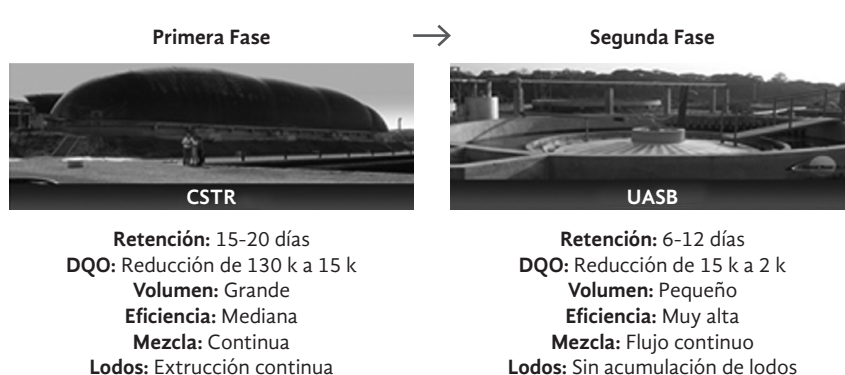


Figura 2. Lagunas cubiertas para el tratamiento de aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma.



Figura 3. Biorreactores en hormigón para tratamiento de POME.

Figura 4. Sistema multietapas CSTR+UASB.



manto de lodos, el POME es digerido rápidamente por la alta densidad de bacterias, reduciendo el tiempo de retención a menos de 12 horas.

En un sistema multietapas el reactor UASB contribuye con 20 % del biogás a la producción total del sistema. Sin embargo, este tipo de reactor rápido permite la reducción del volumen de construcción del sistema en más de 30 % y construir estos sistemas a menor costo, en comparación con un sistema CSTR.

La desventaja de los reactores UASB es su límite de DQO con aproximadamente 15.000 mg/L; es decir, con cargas orgánicas más altas, el manto de lodos se puede tapar fácilmente dejando bloqueado el sistema. Por tanto, se necesita el pretratamiento del POME en la primera etapa y el reactor CSTR, para reducir la DQO a un nivel aceptable para el reactor UASB.

La combinación de dos tipos de reactores en serie, un reactor de CSTR que reduce la alta carga orgánica en un primer paso, seguido por un reactor UASB rápido, es por tal razón la mejor tecnología disponible en el tratamiento de POME y en la producción de biogás.

Sin embargo, el diseño profesional y eficiente de estos sistemas de multietapas para conseguir un proceso robusto requiere un *know-how* muy avanzado, así como un análisis profundo de las características de cada planta extractora.

Plantas extractoras con tricanter

El potencial de biogás está relacionado con la carga orgánica y con los sólidos suspendidos en el POME. Muchas plantas extractoras utilizan una clarificación dinámica con sistemas de decantación centrífuga o tricanter para recuperar parte del aceite de

sus aguas residuales. Sin embargo, el tricanter también remueve partes de los sólidos del POME. Dependiendo de la eficiencia del tricanter (una, dos o tres fases), la clarificación dinámica puede reducir la carga orgánica hasta en 50 %, reduciendo también el potencial de biogás. Infortunadamente es casi imposible reintegrar estos sólidos en el POME, ya que no se disuelven fácilmente.

El sistema multietapas ofrece la única alternativa para plantas extractoras con tricanter, de producir un volumen viable de biogás: una tercera fase opcional con un reactor de sólidos.

En esta tercera fase, que consiste en un reactor de tipo CSTR con un alto porcentaje de sólidos, se mezclan los sólidos del tricanter con las bacterias de la primera etapa (primer reactor CSTR) para conseguir una digestión anaeróbica eficiente y rápida (Figura 5). Este reactor de sólidos permite recuperar parte de los sólidos y producir aproximadamente 30 % más de biogás que un sistema de dos etapas.

Opciones de uso de biogás

Una planta extractora mediana con 150 ktFFB por año (120.000 m³ de POME con una DQO de 70.000 mg/L) puede producir aproximadamente 3,4 millones (MM) de m³ de biogás por año con un sistema multietapas. Este volumen de biogás corresponde a un valor energético de 20,4 MM de kWh/año..

Opción 1: caldera principal

Con pocas adaptaciones e inversiones mínimas (menos de 100.000 dólares), las plantas extractoras pueden utilizar este biogás como combustible en su cal-



- Depósito de biogás
- Timón de movimiento lento
- Extracción de lodos
- Inyección de lodos
- Entrada de sólidos

Figura 5. Reactor de tipo CSTR.



Figura 6. Opción 1, caldera principal.

dera principal (Figura 6). Sin embargo, la eficiencia eléctrica de una caldera típica es de solo 15 %. Por tanto, la caldera producirá 0,9 kilovatios/hora de electricidad con cada m^3 de biogás, generando aproximadamente 3 millones (MM) de kilovatios/hora de electricidad (kWh_{el}) por año, con una potencia de aproximadamente 600 kilovatios eléctricos (kW_{el}).

Con base en un valor de USD 0,1 por kWh_{el} , esta forma de tratamiento producirá ingresos de USD 300.000 por año para la planta extractora.

Opción 2: motor de biogás

El uso común del biogás es la combustión en un motor de biogás con producción de energía eléctrica para la planta misma, venta a la red o venta a otros productores.

Los motores más modernos y avanzados logran eficiencias eléctricas de 42 % y requieren una inversión inicial de aproximadamente USD 1.000 por kW_{el} .

Las marcas dominantes en este mercado de motores de biogás de alta tecnología y alta eficiencia son GE Jenbacher de Austria, MWM (Grupo Caterpillar) de Alemania y Guascor de España. Estas marcas también ofrecen mantenimiento en muchos mercados internacionales (Figura 7).

Este tipo de motor de alta eficiencia no se recomienda en combinación con sistemas de primera generación como lagunas cubiertas, por la gran variabilidad en la calidad y cantidad del biogás de estos sistemas simples que pueden fácilmente dañar este tipo de motor de alta tecnología. Para estos sistemas básicos -lagunas cubiertas- se recomienda motores de biogás más simples, por ejemplo, de China, con eficiencias de 25 a 30 %.

Con un motor de alta eficiencia, una planta extractora mediana típica (con 150 t FFB y 3,4 MM m^3 de biogás por año) puede producir 8,6 MM kWh_{el} por año con una potencia eléctrica de 1.700 kW_{el} y una inversión inicial de aproximadamente USD 1,7 MM.

Figura 7. Opción 2, motor de biogás.



Figura 8. Opción 3, conversión de biocombustible.



Con base en un valor de USD 0,1 por kWh_{el}, este tipo de motor genera ingresos de USD 860.000 por año para la planta de beneficio.

Opción 3: conversión en biocombustible

El biogás se compone de 60 % de metano (CH₄), que también representa todo el valor energético. Nuevas tecnologías con membranas (en vez de lavados químicos) permiten aislar este metano (por ejemplo, remoción del CO₂ del biogás; el CO₂ se puede comercializar con industrias químicas y productores de sodas) en sistemas ‘*plug & play*’, sin uso de químicos o agua, con mínimo mantenimiento y, un costo de producción por m³ de metano 50 % reducido, en comparación con los sistemas anteriores de lavado.

El biometano puro se puede comprimir a 200 bares para cumplir con el estándar de gas natural comprimido (GNC). El GNC es un combustible que se uti-

liza en más de 16 millones de vehículos en el mundo (2012), de los cuales, 4 millones están en Brasil y Argentina. El GNC puede sustituir la gasolina y el diésel en todo tipo de vehículos y maquinaria (por ejemplo, bombas de riego, cargadores y apiladores).

Una planta extractora mediana de 150 ktFFB por año puede producir aproximadamente 2 millones de m³ de biometano puro, que corresponden a 1,5 millones de litros de diésel-equivalente.

Con base en un valor de USD 1 por litro de diésel, un sistema de membranas genera ingresos o ahorros de USD 1,5 millones por año con una inversión inicial de aproximadamente USD 1,2 millones (Figura 8).

Beneficios de los proyectos de biogás

Los proyectos de biogás tratan las aguas residuales de plantas extractoras de aceite de palma, asegurando el cumplimiento con las regulaciones; producen

energía renovable y abono orgánico de manera permanente, generan ingresos continuos y sostenibles, eliminan las emisiones de gases de efecto invernadero y olores de las lagunas abiertas y reducen el área ocupada por el tratamiento.

Por tanto, los proyectos de biogás convierten el POME de un residuo costoso a un recurso importante y rentable para la planta extractora, y establecen un círculo cerrado de sostenibilidad en la planta extractora y las plantaciones de la fruta (Figura 9).

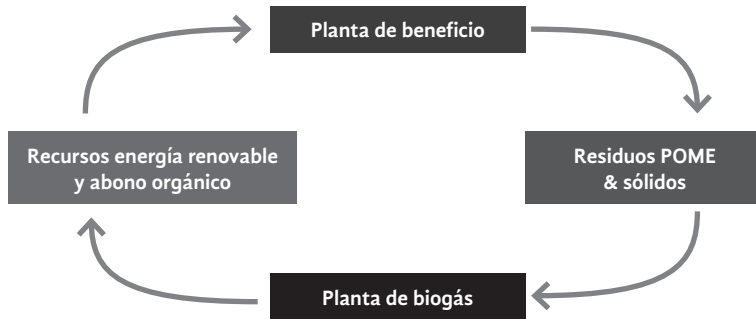


Figura 9. Beneficios de los proyectos de biogás para las plantas extractoras.