

## Tratamiento de POME - Convertir un Residuo en un Recurso

Markus Althausen (MSc),  
 Presidente ClimeCo International  
[ma@climecointernational.com](mailto:ma@climecointernational.com)


 ClimeCo International  
 Energía Renovable de Desechos Agroindustriales


 GAexp  
 Process & Energy

Los aguas residuales de plantas extractoras de aceite de palma (POME) requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales. Al mismo tiempo un tratamiento moderno de POME puede convertir su alta carga orgánica en BioGás, una mezcla de gases con un valor energético de 6kWh/m<sup>3</sup>. 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 misma y sus plantaciones.

Plantas extractoras 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 0.8m<sup>3</sup> de efluente (Palm Oil Mill Effluent - POME) por cada tonelada de fruta fresca (tFFB) procesada.

Por lo tanto una planta extractora mediana con 150,000 tFFB por año (30tFFB/hora) produce aproximadamente 120,000m<sup>3</sup> de POME por año o 450m<sup>3</sup> de POME por día. Este volumen corresponde a una producción de más de cuatro piscinas olímpicas (50 metros de largo, 25 metros de ancho y 2 metros de profundo) cada mes.

POME es un líquido de color amarillo-marón con características agresivas<sup>1</sup>

- Alta carga orgánica (promedios)
  - Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 55,000mg/L
  - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 25,000mg/L
  - Sólidos Suspendedos de 20,000mg/L
- Temperatura muy alta de 80°C
- pH ácido entre 4 y 5

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

### Tratamiento Típico – Lagunas Abiertas

El tratamiento típico del POME es un sistema biológico 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).



Con un buen diseño (sobre todo suficiente tiempo de retención) y buen mantenimiento (sobre todo 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 sistemas son sistemas estáticos, en general sin

<sup>1</sup> Abdurahman, Rosli, Azhari; 2013

mezcla interna y sin temperatura controlada. Por lo tanto las bacterias no tienen condiciones ideales para la digestión (por ejemplo necesitan temperaturas constantes entre 30°C y 37°C tanto que alimentación continúa y homogenizada). Como consecuencia el proceso en estos sistemas de lagunas abiertas no es muy eficiente.

Específicamente estos sistemas

1. Necesitan más de 35 días de retención y así grandes volúmenes y superficies – una planta de 150ktFFB/año necesita lagunas de más de 17,000m<sup>3</sup>
2. Los lodos de la materia orgánica digerida se acumulan en el fondo (10-15m<sup>3</sup> por día) de la laguna, reduciendo el volumen disponible de forma continua.
3. Las inversiones y gastos en estos sistemas no producen retornos ni ingresos
4. Emiten gases invernaderos a la atmosfera y producen olores fuertes

### Tratamiento Moderno de 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 (sobre todo 60% metano y 35% dióxido de carbono) con un potencial energético de 6 kilovatios horas (kWh) por metro cubico.

Esta mezcla de gases – el BioGás – se puede capturar y utilizar como combustible en la producción de energía. Cada metro cubico de POME tiene un potencial entre 25 y 35 m<sup>3</sup> de BioGás (dependiendo de la DQO del POME) o 150-210 kWh de energía.

#### 1ª Generación - Lagunas Cubiertas

En la *primera generación* del tratamiento moderno de POME plantas extractoras

cubrieron sus lagunas con tapas flexibles para capturar el BioGás.



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

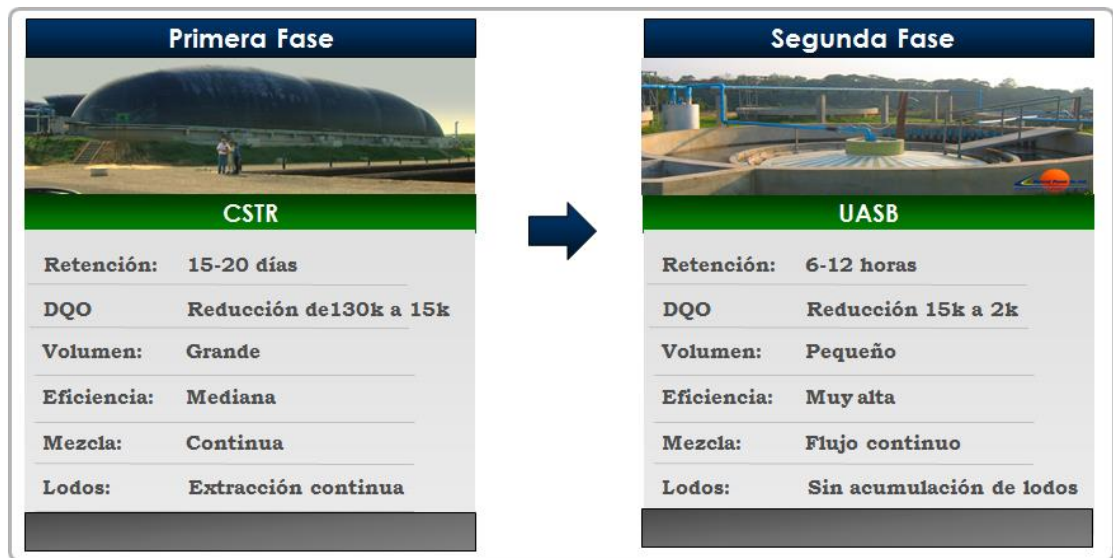
#### 2ª Generación - Reactores Mezcla Continua

En la segunda generación del tratamiento moderno de POME se utilizaron bio-reactores muy avanzados de Europa, con mezcla y alimentación continua, calefacción, remoción continua de lodos, alta automatización, alta e estable calidad y cantidad de BioGás e una construcción muy robusta en hormigón armado con una vida útil de más de 25 años.



Sin embargo el diseño de estos bio-reactores de mezcla continua (CSTR – Continuously Stirred Tank Reactor) originó en substratos Europeos con más sólidos (por ejemplo purines de 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 POME.

### Sistema Múlti-Etapas CSTR+UASB



#### 3ª Generación - Sistemas Múlti-Etapas

La tercera generación del tratamiento de POME combina diferentes tipos de bio-reactores con diferentes tipos de digestión anaeróbica en un sistema 100% adaptado a las características de POME.

En un primer paso un reactor CSTR reduce la carga orgánica de hasta 120,000 mg/L de DQO a aproximadamente 15,000mg/L en un periodo de 15 días, produciendo así 80% del BioGás del sistema.

En el paso siguiente el POME, saliendo del CSTR ya parcialmente digerido, pasa por un bio-reactor de flujo ascendente (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), donde las bacterias se encuentran en un manto de lodos. Este manto de lodos consiste en bolas pequeñas de un diámetro de aproximadamente 1mm que ofrecen una gran superficie a las bacterias y por lo tanto aumenta la densidad de las bacterias en el proceso. En pasando este manto de lodos el POME es digerido muy rápido por la alta densidad de bacterias, reduciendo el tiempo de retención a menos que 12 horas.

En un sistema múlti-etapas el reactor UASB contribuye 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 por más de 30% y permite construir estos sistemas a un coste menor comparado a un sistema CSTR.

La desventaja de los reactores UASB es su límite de DQO con aproximadamente 15,000 mg/L: con cargas orgánicas más altas, el manto de lodos se puede tapar fácilmente, dejando el sistema bloqueado. Por lo tanto se necesita el pre-tratamiento del POME en la primera etapa, 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 eso la mejor tecnología disponible en el tratamiento de POME y en la producción de BioGás.

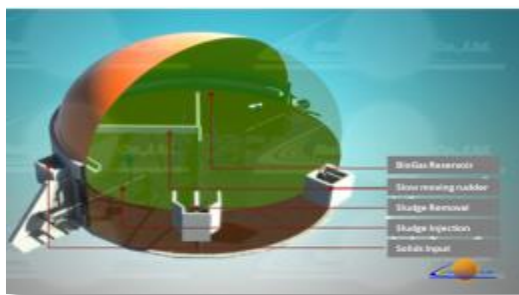
Sin embargo el diseño profesional e eficiente de estos sistemas de múlti-etapas para conseguir un proceso robusto requiere un know-how muy avanzado tanto que un análisis profundo de las características de cada planta extractora.

### Plantas Extractoras con Tricanter

El potencial de BioGás está relacionado con la carga orgánica e así con los sólidos suspendidos en el POME. Muchas plantas extractoras utilizan una clarificación dinámica con sistemas de 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 de hasta 50%, reduciendo también el potencial de BioGás. Desafortunadamente es casi imposible reintegrar estos sólidos en el POME porque no se disuelven fácilmente.

El sistema multi-etapas ofrece la única alternativa para plantas extractoras con tricanter de producir un volumen viable de BioGás: una opcional tercera fase 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.



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 150ktFFB por año (120,000m<sup>3</sup> de POME con una DQO de 70,000 mg/L) puede producir aproximadamente 3.4 millones (MM) m<sup>3</sup> de BioGás por año con un sistema multi-etapas. Este volumen de BioGás corresponde a un valor energético de 20.4MM de kilovatios horas por año.

#### 1ª Opción - Caldera Principal



Con pocas adaptaciones e inversiones mínimas (menos de US\$ 100,000) plantas extractoras pueden utilizar este BioGás como combustible en su caldera principal. Sin embargo, la eficiencia eléctrica de una caldera típica es solo 15%.

Por lo tanto la caldera producirá 0.9 kilovatios horas eléctricas con cada m<sup>3</sup> de BioGás, resultando en aproximadamente 3 millones (MM) kilovatios horas eléctricas (kWh<sub>el</sub>) por año con una potencia de aproximadamente 600 kilovatios eléctricos (kW<sub>el</sub>).

Basado en un valor de US\$ 0.1 por kWh<sub>el</sub> esta forma de tratamiento producirá ingresos de US\$ 300,000 por año para la planta extractora.



## 2ª Opción - Motor de BioGás



El uso más común de 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 e avanzados consiguen eficiencias eléctricas de 42% y requieren una inversión inicial de aproximadamente US\$1,000 por kW<sub>el</sub>.

Las marcas dominantes en este mercado de motores de BioGás de alta tecnología e 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.

[Nota: este tipo de motor de alta eficiencia no se recomienda en combinación con sistemas de primera generación, i.e. 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 recomiendan 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 150ktFFB y 3.4MM m<sup>3</sup> de BioGás por año) puede producir 8.6MM kWh<sub>el</sub> por año con una potencia eléctrica de 1,700 kW<sub>el</sub> e una inversión inicial de aproximadamente US\$ 1.7MM. Basado en un valor

de US\$ 0.1 por kWh<sub>el</sub> este tipo de motor genera ingresos de US\$ 860,000 por año para la planta extractora.

## 3ª Opción – Conversión en BioCombustible



El biogás se compone de 60% de metano (CH<sub>4</sub>) que también representa todo el valor energético. Nuevas tecnologías con membranas (en vez de lavados químicos) permiten aislar este metano (i.e. remoción del CO<sub>2</sub> del BioGás – el CO<sub>2</sub> se puede comercializar con industrias químicas y productores de sodas) en sistemas ‘plug & play’, sin uso de químicos o agua, con mínimo mantenimiento e un costo de producción por m<sup>3</sup> de metano 50% reducido comparado a sistemas anteriores de lavado.

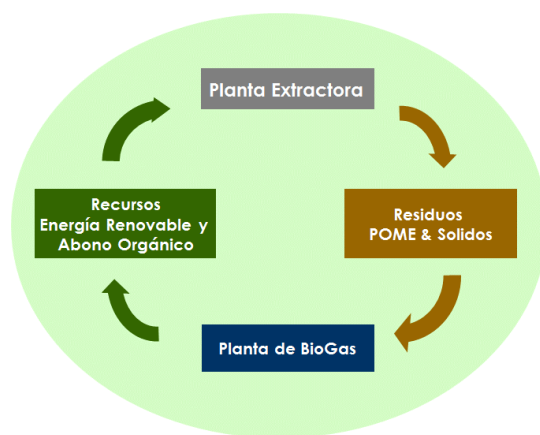
Bio-Metano puro se puede comprimir a 200 bares para cumplir con el estándar de Gas Natural Comprimado (GNC). GNC es un combustible que se utiliza en más de 16 MM de vehículos en el mundo (2012), con 4MM en Brasil e Argentina. GNC puede sustituir gasolina y diésel en todo tipo de vehículo y maquinaria (por ejemplo bombas de riego, cargadores e apiladores).

Una planta extractora mediana de 150ktFFB por año puede producir aproximadamente 2MM m<sup>3</sup> de Bio-Metano puro, que corresponden a 1.5MM litros de Diésel-equivalente.

Basado en un valor de US\$ 1 por litro de Diésel un sistema de membranas genera ingresos o ahorros de US\$ 1.5MM por año con una inversión inicial de aproximadamente US\$ 1.2MM.

## Beneficios de Proyectos de BioGás

Proyectos de BioGás tratan los aguas residuales de plantas extractoras de aceite de palma, asegurando cumplimiento con las regulaciones, producen energía renovable e abono orgánico de forma continua, generan ingresos continuos y sostenibles, eliminan las emisiones de gases invernaderos e olores de las lagunas abiertos y reducen el área ocupado por el tratamiento.



Por lo tanto los proyectos de BioGás convierten el POME de un residuo costoso a un recurso importante y lucrativo para la planta extractora y establecen un círculo cerrado de sostenibilidad en la planta extractora y las plantaciones de la fruta.

### Markus Althausen (MSc)

*Presidente ClimeCo International corp*

[ma@climecointernational.com](mailto:ma@climecointernational.com)

