

Boletín Técnico No. 30

Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite

Autores

Nidia Elizabeth Ramírez Contreras

Ángela Sofía Silva Ramírez

Edna Margarita Garzón González

Edgar Eduardo Yáñez Angarita

Colaboradores técnicos

Juan Carlos Espinosa

Jesús Alberto García N.

Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma
Bogotá, diciembre de 2011

Boletín Técnico No. 30

Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite

Impresa con recursos del Convenio N° 00062/10 SENA-SAC.
Contrato N° 012/10 SAC-Fedepalma

Autores

Nidia Elizabeth Ramírez Contreras - Especialista Plantas de Beneficio
Ángela Sofía Silva Ramírez - Especialista Plantas de Beneficio
Edna Margarita Garzón González - Responsable LAFS
Edgar Eduardo Yáñez Angarita - Líder Área de Ingeniería

Colaboradores técnicos

Juan Carlos Espinosa - Líder Unidad Ambiental.
Jesús Alberto García N. - Coordinador Programa de Procesamiento

Coordinación editorial

Yolanda Moreno M.
Oficina de Comunicaciones de Fedepalma

Diseño y diagramación

Carlos Sandoval - Pigmalión

Fotografía

Impresión

Impresores Molher Ltda.

Cenipalma

Calle 20 A No. 43 A-50, piso 4.
PBX: (57-1) 2086300 Fax: (57-1) 3681152
www.cenipalma.org
Bogotá D. C. Colombia

Diciembre de 2011

ISBN: 978-958-8360-38-8

Presentación

Para la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) es grato poner a disposición de los palmicultores el presente boletín técnico sobre la caracterización y manejo de los subproductos que se obtienen del proceso de extracción del aceite de palma en las plantas de beneficio.

Así, este boletín se concentra en los principales subproductos: la tusa, los lodos de fondo y las cenizas. Sobre cada uno de ellos consigna información técnica acerca de su caracterización fisicoquímica y brinda opciones de manejo práctico de los mismos.

Para ello los autores han hecho un excelente trabajo con el ánimo de ilustrar las recomendaciones de la mejor manera; también presentan notas especiales muy prácticas para facilitar la implementación de las tecnologías de manejo de los subproductos antes indicados.

Los lectores encontrarán muy valioso el contenido de este material y lo más importante es que con la aplicación de sus recomendaciones para el aprovechamiento de los subproductos, se contribuirá a un mejor manejo ambiental en la agroindustria de la palma de aceite con sus consecuentes beneficios.

Bienvenidos a hacer atenta lectura de este boletín y a poner en uso su contenido.

JOSÉ IGNACIO SANZ SCOVINO
Director Ejecutivo
Cenipalma

Contenido

Introducción	7
Consideraciones generales para la aplicación de subproductos en cultivos de palma de aceite.....	9
Tusa.....	11
Definición.....	13
Caracterización	13
Recomendaciones para el aprovechamiento de la tusa en el cultivo.....	15
Usos y beneficios de la tusa en el cultivo.....	20
Beneficios de utilizar la tusa como abono orgánico	21
Uso de tusas en compostaje.....	22
Lodo de fondo.....	25
Definición	27
Caracterización	27
Recomendaciones para el aprovechamiento de los lodos	28
Usos y beneficios del lodo en el cultivo.....	31
Ceniza.....	33
Definición.....	35
Caracterización	35
Recomendaciones para el aprovechamiento de la ceniza	36
Usos y beneficios de la ceniza en el cultivo	37
Agradecimientos	39
Glosario	40
Bibliografía	42

Introducción

En el proceso de beneficio del fruto de palma de aceite se generan varios subproductos de interés técnico y económico tanto para la planta de beneficio como para el manejo agronómico del cultivo de palma de aceite. Entre ellos se pueden citar: (a) las tusas o racimos vacíos, resultado del desfrutado de los racimos esterilizados de palma, (b) la fibra resultante del prensado del fruto, (c) el cuesco obtenido del rompimiento de la nuez, (d) las cenizas producidas por la quema de fibra y cuesco en las calderas y (e) los lodos de fondo retirados de la laguna anaerobia del sistema de tratamiento de aguas.

De la biomasa generada se destaca el uso de un alto porcentaje de fibra y cuesco como combustible en la caldera para producción de vapor y electricidad. Buena parte de la tusa se envía al campo como acondicionador del suelo en plantaciones de palma de aceite.

En el año 2010, Cenipalma realizó un estudio en las plantas de beneficio de las diferentes zonas palmeras de Colombia, entre cuyas conclusiones se encuentra que del total de la fibra producida, el 80% se aprovecha como combustible para calderas, y el restante en otros usos, como la elaboración de compostaje (14%) y abono en las plantaciones (6%). Para el cuesco, se observó que alrededor del 67% del total obtenido se utiliza como combustible para calderas, 16% se dispone para la venta a otras industrias como combustible sustituto del carbón, 5% es utilizado en compostaje, 7% como acondicionador en las vías de las plantaciones y 5% en las plantas de beneficio que utilizan prensas monotornillo y que, para mejorar el proceso de extracción de aceite de palma, requieren mezclar con cuesco el fruto digestado (García et ál., 2010).

Con el fin de contribuir a la reducción del impacto ambiental del sector palmero, es necesario ajustar las prácticas de manejo de los subproductos generados en plantas de beneficio, desde el inicio del proceso de la cadena productiva.

Por esta razón, Cenipalma y Fedepalma han hecho énfasis en los beneficios del uso de las mejores prácticas operativas en planta, que posibilitan la optimización y la mejoría de la eficiencia de los procesos (reducción de pérdidas de aceite) (Mosquera, 2007). Además, ello permite adaptar el proceso de extracción de aceite a los requerimientos nacionales e internacionales en materia ambiental, como por ejemplo los establecidos por la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por su sigla en inglés).

Tales requerimientos se plasman en algunos criterios relacionados con la utilización de buenas prácticas de procesamiento, la necesidad de reducir y/o valorizar la biomasa

generada, la maximización del uso eficiente de la energía, el uso de energías renovables, y la ejecución y monitoreo de planes para reducir la contaminación y las emisiones, incluyendo los gases de efecto invernadero (Cala et ál., 2008). Asimismo, en varios trabajos de Cenipalma enfocados a buenas prácticas para el manejo de efluentes con el fin de remover mayor carga orgánica y sólidos suspendidos en los vertimientos del sistema de tratamiento (García, 1996; García et ál., 1997).

De manera que del uso de las buenas prácticas de operación, incluyendo las etapas de evacuación, transporte, almacenamiento y utilización en el campo de los subproductos generados en las plantas de beneficio, depende la obtención del resultado esperado. Ello es así tanto para el caso de los análisis ambientales requeridos, como para el cultivo de palma de aceite y de las plantas de beneficio, que tienen ganancias en lo referente a los siguientes aspectos:

- **Mayor reciclaje de nutrientes en el suelo** con la adecuada aplicación en el campo de las tusas, lodos y cenizas, dados los altos contenidos de nutrientes de estos tres subproductos.
- **Disminución en los costos y requerimientos de fertilización** con productos químicos, debido a que la fertilización se complementa con subproductos naturales de la palma de aceite.
- **Reducción de pérdidas de aceite** en las plantas de beneficio, como resultado de la implementación de los procesos y tratamientos aquí recomendados para el manejo de las tusas luego del desfrutado.
- **Manejo ambientalmente adecuado**, de forma tal que se previenen potenciales efectos negativos al agua, suelo, ecosistemas y población humana causados por prácticas inadecuadas de almacenamiento, transporte y disposición de estos subproductos.

Teniendo en cuenta lo anterior, este boletín técnico se constituye en un valioso insumo que contribuye al mejoramiento de la productividad del cultivo de la palma de aceite y su beneficio, así como a la adopción de prácticas ambientales sostenibles en el sector palmero. Presenta, por un lado, aspectos técnicos que recogen la experiencia y el conocimiento de Cenipalma, además de otras entidades nacionales e internacionales, en lo relativo a mejores prácticas para el manejo de subproductos. Y, por otro lado, mantiene un enfoque preventivo de la gestión ambiental, que más allá de tratar de evitar sanciones de las autoridades correspondientes, promueve la utilización efectiva de subproductos con valor agregado ambiental y económico para el proceso productivo de la palma de aceite.

Consideraciones generales para la aplicación de subproductos en cultivos de palma de aceite

1. Elaborar un plan anual de disposición de subproductos en el campo, para establecer acciones de manejo, retiro, transporte y disposición final, en el cual se prioricen las UMA (unidades de manejo agronómico) o, en su defecto, lotes que requieren de ellos. Es importante planificar las dosis y el sistema de aplicación, y tener un cronograma previsto para ello. Este plan básico toma en cuenta los requerimientos específicos por UMA, el conocimiento general del relieve y los tipos de suelos de la plantación, entre otros recursos biofísicos. Debe contemplarse que, por año, a una misma UMA o lote únicamente se le aplicará una sola clase de subproducto. También, que es posible ejecutar este plan de manejo en plantaciones propias o de terceros.
2. Considerar dentro del plan de manejo ciertas áreas esenciales a las cuales no se deben aplicar los subproductos generados en la planta de beneficio, como en el caso de:
 - Rondas de ríos y quebradas, de las cuales la zona de aplicación debe distanciarse 30 metros.
 - Proximidades de canales principales: deben mantenerse a una distancia mínima de 15 metros de la zona de aplicación.
 - Áreas naturales especiales de reserva y protección (relictos de bosques primarios, bosques de vega, de galería, morichales, humedales, reservas forestales y bosques secundarios).
 - Cubetas o zonas bajas, áreas con inundaciones frecuentes, de mediana y larga duración y nivel freático alto en temporadas del año.
 - Lotes con suelos muy pobremente drenados, sin obras de drenaje, en suelos arenosos y suelos pedregosos localizados en inmediaciones de las fuentes hídricas.
3. Realizar anualmente la caracterización química (macro y micronutrientes, pH, conductividad eléctrica) de lodo, tusa y ceniza.
4. En ningún caso practicar la quema descontrolada y al aire libre de las tusas.
5. No realizar aplicación de ceniza y lodo en suelos alcalinos con pH superior a 8.
6. Para las aplicaciones de los subproductos en el campo, utilizar los implementos de seguridad correspondientes a cada sección, zapatos cerrados o botas de

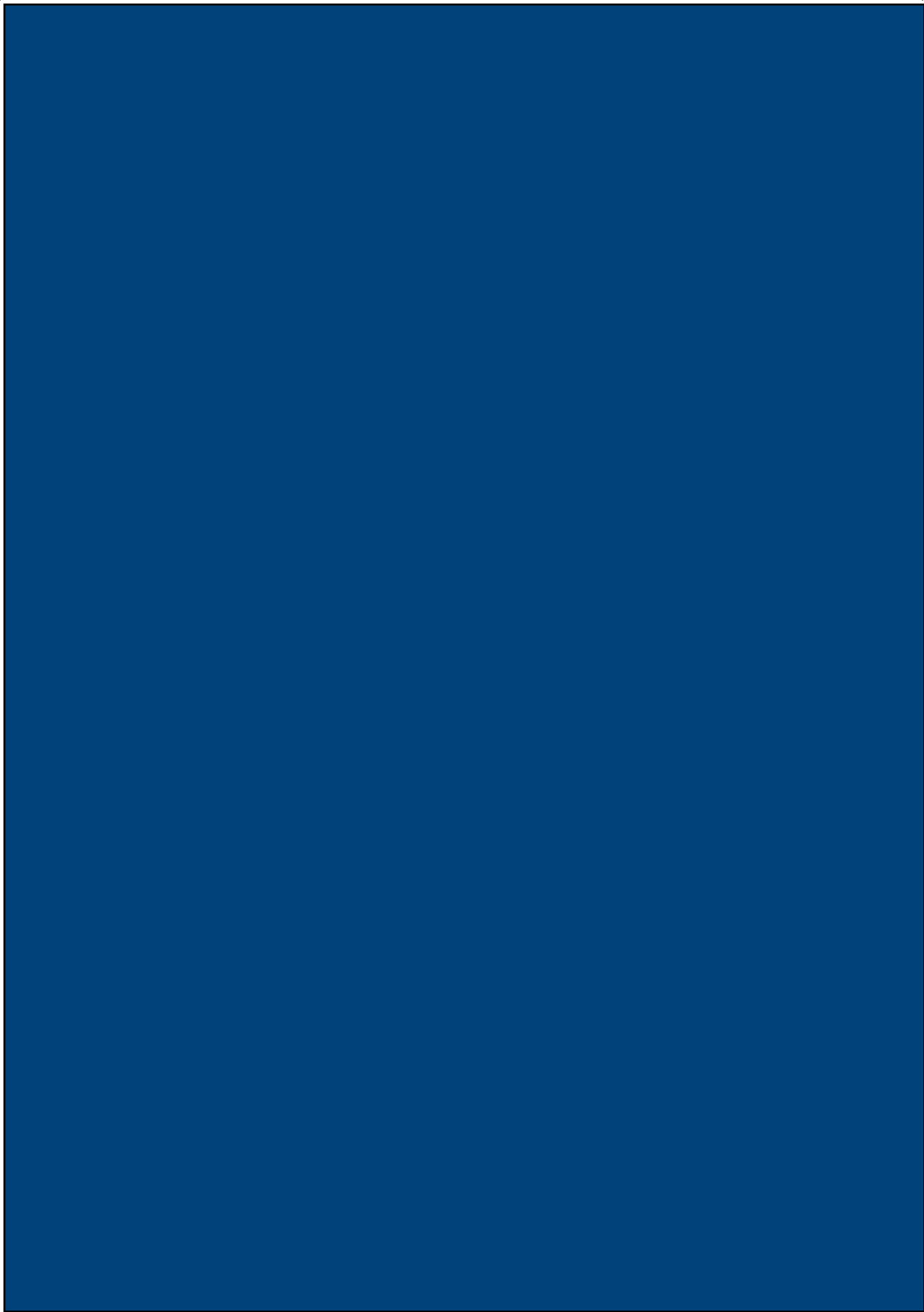
caucho, ropa de trabajo cómoda de fácil limpieza y desinfección, camisa de manga larga, sombrero de ala ancha para protegerse del sol, guantes de caucho o carnaza según se requiera, mascarilla y gafas. Es fundamental que al finalizar la labor se sigan los procedimientos de higiene tanto para el personal como para los elementos de protección.

Primera parte



Foto: Archivo Centro de Documentación de Fedepalma.

Tusa



Tusa

Definición

La tusa o racimo vacío de palma es un material lignocelulósico con 60 a 65% de humedad y 1 a 2,5% de aceite vegetal impregnado, producto de la separación física de los frutos de su soporte naturalraquis, en el proceso de desfrutado de los racimos esterilizados en la planta de beneficio (Figura 1).



Figura 1¹. Tusa o racimo vacío de palma.

Caracterización

La tusa es un material rico en potasio (K) y en menor proporción, en nitrógeno (N), fósforo (P) y magnesio (Mg). Sus principales componentes son polisacáridos, como celulosa, glucano y xilano, en aproximadamente 66%, y polímeros, como la lignina, en 12% (Cenipalma; Rahman et ál, 2007; Mada et ál., 2010; y García et al., 2008). En las tablas 1a y 1b se observa la composición química de la tusa.

¹ **Fuente:** División de Servicios Técnicos Especializados de Cenipalma.

Tabla 1a. Composición química de la tusa en base seca

Parámetros	Rango	Media
Cenizas (%)	4,8 - 8,7	6,3
Aceite (%)	8,1 - 9,4	8,9
Carbono	42 - 43	42,8
P ₂ O ₅ (%)	0,65 - 0,94	0,8
K ₂ O (%)	2,0 - 3,9	2,9
MgO (%)	0,25 - 0,40	0,3
CaO (%)	0,15 - 0,48	0,25
Boro (mg/kg)	9,0 - 11,0	10
Cobre (mg/kg)	22 - 25	23
Zinc (mg/kg)	49 - 55	51
Hierro (mg/kg)	310 - 595	473
Manganeso (mg/kg)	26 - 71	48
Relación C:N	45 - 64	54

Fuente: Gurmit S., Kow D.L., Lee K.H., Lim K.C., Loong S.G. 1999.

Tabla 1b. Análisis próximo y elemental de tusa material híbrido en base seca

Poder calorífico bruto (Btu/lb)	7.689
Poder calorífico bruto (kJ/kg)	17.930,7
Humedad residual (% masa)	6,1
Materia volátil (% masa)	69,5
Cenizas (% masa)	6,5
Carbono fijo (calculado, % masa)	17,9
Azufre (% masa)	0,1
Carbono (% masa)	44,8
Hidrógeno (% masa)	6,4
Nitrógeno (% masa)	0,8
Oxígeno (calculado, % masa)	35,8

Fuente: Cenipalma (2010)

Recomendaciones para el aprovechamiento de la tusa en el cultivo

1. **Desalojo de la tusa de la planta de beneficio.** Debe evacuarse de manera convencional mediante una banda transportadora hasta un punto de recolección donde se ubica un camión, volqueta, vagón o contenedor, para luego llevarse a un centro de acopio en caso de requerirse, o directamente para su aplicación en el cultivo (Figura 2). No debe permitirse que la tusa se acumule dentro de la planta de beneficio.
2. **Determinación de la relación másica.** Consiste en el pesaje de las tusas antes de retirarlas de la planta de beneficio. Se determina la relación másica en porcentaje (tusas/racimo de fruta fresca RFF), para estimar la eficiencia del proceso, la cual considera las tusas generadas durante el periodo de operación de la planta y el correspondiente peso de racimos procesados durante el mismo.
3. **Trozado y prensado de tusas.** En algunas plantas de beneficio se prensan las tusas en prensas especiales monotornillo, para retirar parte del aceite que quedó impregnado y disminuir la humedad (Cala et ál, 2008). Así se reducen el tamaño y el volumen del material, lo que permite ahorrar en costos de transporte. Para disponer 1 tonelada de tusa a distancias no mayores de 5 kilómetros alrededor

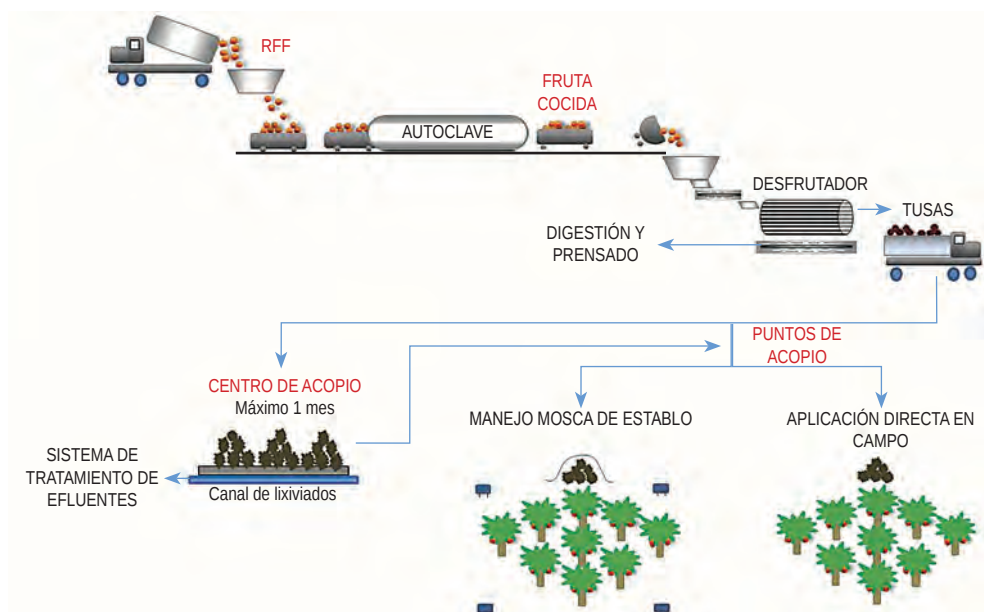


Figura 2. Esquema de disposición de tusa en campo.

de la planta de beneficio, el costo oscila entre \$7.000 y \$8.000 por tonelada, sin contar con el costo de esparcirla dentro de las plantaciones de palma, que es de unos \$4.000/t, además de otros gastos como los generados por el tractor que se utiliza para esta labor en cuanto a combustible, desgaste de piezas y depreciación de equipos (García et ál., 2010). La disminución del tamaño de las tusas facilita el manejo en el campo e incide en una mayor tasa de descomposición; un ejemplo del uso de esta práctica se encuentra en la empresa Unipalma de los Llanos, donde se utiliza una prensa de tusas con el objeto de disminuir las pérdidas de aceite impregnado en tusa, facilitar y acelerar su descomposición para utilizarlas en la producción de compostaje (Laiton, 2010).

4. **Plan de disposición de tusas en el suelo del cultivo (Figura 2).** Se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones, para una adecuada disposición de tusas en el cultivo.
 - a. **Centro de acopio.** Es un patio ubicado cerca de la planta de beneficio, utilizado para almacenar temporalmente los subproductos en caso de que no se puedan distribuir en el campo de inmediato. Se recomienda no exceder el tiempo de almacenamiento por más de un mes, esencialmente para la tusa, pues solo así se podrán aprovechar al máximo los nutrientes contenidos en ella, y en especial el potasio (Caliman et ál., 2001), que se disminuyen o se pierden con el tiempo. El centro de acopio debe estar retirado de áreas de conservación de los recursos naturales, humedales, rondas de ríos y vegas de quebradas. El suelo seleccionado para ser usado como centro de acopio debe ser de baja permeabilidad (lenta infiltración y baja conductividad hidráulica), sin fragmentos gruesos (gravas, cascajos, piedras) en los horizontes superficiales. Se recomienda colocar geomembrana o geotextil para impermeabilizar el área del acopio, y construir canales perimetrales para la recolección de lixiviados que se enviarán al sistema de tratamiento de efluentes de la planta de beneficio. Cuando el tiempo de almacenamiento se exceda de un mes, es recomendable que el centro de acopio esté cubierto, para minimizar la pérdida de los nutrientes contenidos en los subproductos.
 - b. **Puntos de acopio.** Con el fin de aprovechar al máximo los nutrientes almacenados en las tusas (potasio, fósforo y magnesio) y usar la tusa fresca que sale de la planta de beneficio, debe evacuarse hacia los puntos de acopio en la plantación a medida que se va obteniendo en el proceso, y distribuirse en los lotes en el menor tiempo posible, debido a que, transcurrido un mes de su almacenamiento, se disminuyen o se pierden sus nutrientes. Los puntos de acopio son pequeñas áreas a cielo abierto en la cabecera de los lotes, retirados

de áreas de conservación de los recursos naturales, humedales, rondas de ríos y vegas de quebradas, en donde se apilan temporalmente volúmenes menores de tusa formando montones de 12 a 14 toneladas, para posteriormente esparcirla en el suelo del lote. En caso de requerir control de la mosca de los establos, es indispensable cubrir los puntos de acopio con lonas, como se especifica a continuación.

c. **Manejo de la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*).** En las zonas palmeras donde la mosca de los establos se presente como limitante, implementar el plan de manejo conforme lo establece la resolución del ICA No. 1706 del 2002, y según se presenta en el boletín técnico “Plan de manejo de la mosca de los establos” elaborado por esa entidad y por Cenipalma en 2002. A continuación se describen las recomendaciones para la disposición de tusa en zonas con presencia de *Stomoxys calcitrans*:

- Amontonar la tusa en sitios de acopio, distante de explotaciones pecuarias, con el fin de reducir el área de exposición para la oviposición y desarrollo larval. El tiempo mínimo de duración del amontonamiento de las tusas es de 20 a 25 días desde su descarga en el punto de acopio hasta el momento de su esparcimiento en el terreno, porque pasado este periodo se considera una disminución de las condiciones adecuadas para el desarrollo larval de la mosca. Otra ventaja de esta práctica es la reducción de costos de manejo en cuanto a liberación de *Spalangia* sp. y materiales para el monitoreo de adultos.
- En época de invierno, usar mantas (lonas de polipropileno cocidas) para cubrir los montones de tusa y aislarlos de las moscas, puesto que esta condición climática es favorable para su multiplicación. En la Figura 3 se observa la secuencia para la disposición de tusa con cubierta de lona en una plantación de la Zona Oriental, donde se realiza el control de la mosca de los establos, en la época de lluvias.
- Realizar liberación inundativa (se refiere a cantidad y periodicidad) del parasitoide *Spalangia* sp. (cada 30 días, 5.000 pupas parasitadas por tonelada de tusa) y evaluar periódicamente el porcentaje de pupas parasitadas de la mosca por *Spalangia* sp. en el campo.
- Proteger las pupas parasitadas de hormigas y depredadores, creando un entorno ecológico mediante la siembra de plantas nectaríferas como la *Crotalaria* sp.



Figura 3². Puntos de acopio de tusa con cubierta de lona en época de lluvias.

- Para el manejo de la mosca adulta, utilizar trampas adhesivas de color azul, con un pegante eficiente que resista la acción del clima (Figura 4), colocándolas en los alrededores del centro de acopio de tusa, cerca de la planta de beneficio, al lado del sistema de tratamiento de efluentes y en los linderos de la plantación especialmente con explotaciones pecuarias. El número de trampas depende de la cantidad de tusa dispuesta en el campo y la altura de la trampa entre los 50 y 100 cm del suelo.



Figura 4³. Trampa azul para mosca adulta *Stomoxys calcitrans*.

²Fuente: López, F. Hacienda La Cabaña.

³Fuente: López, F. Hacienda La Cabaña.

5. **Descontar los aportes de nutrientes con la aplicación de tusas.** De la prescripción anual de fertilizantes, descontar la cantidad de nutrientes que se están adicionando con la aplicación de la tusa al suelo, sin descuidar el monitoreo del estado nutricional de la palma.
6. **Sistemas de aplicación, dosis y frecuencias de aplicación.** En cuanto a las formas de aplicación se recomienda en capa sencilla (una tusa en contacto con el suelo) o máximo en capa doble cuando así se requiera. Para no entorpecer las labores del cultivo, se opta por alternar espacios de aplicación comenzando por tapizar la calle de no tránsito o palera y, posteriormente, en otra aplicación, la calle de cosecha. En palma joven se aplica al plato a una distancia de 30-40 cm del bulbo (Figura 5) de tal manera que no obstaculice las inspecciones sanitarias para *Strategus aloeus*. La dosis de aplicación se establece considerando la edad del cultivo, la producción esperada y los requerimientos específicos de manejo del suelo.

En palma joven las dosis varían entre 10 y 30 toneladas por hectárea y, en palma adulta, entre 35 y 70. Considerando la rápida tasa de descomposición y liberación de nutrientes de este subproducto, se estima que cada dos años se puede volver a disponer la tusa en la misma UMA o lote dentro del plan de disposición.



Tapizando el plato

En calle de palera

Figura 5⁴. Disposición de tusa en el campo.

7. **Enriquecimiento del manejo mediante la adición de roca fosfórica (opcional).** De acuerdo con las características químicas del suelo y los objetivos del mejoramiento, es una buena práctica espolvorear roca fosfórica previamente en el área de disposición. Esta práctica imita el proceso de acidulación de fosforitas, que favorece o acelera la disponibilidad de fósforo para el cultivo. También es recomendable la aplicación de una fuente nitrogenada antes o inmediatamente después de la aplicación de la tusa

⁴**Fuente:** López, F., Hacienda La Cabaña y Archivo Centro de Documentación de Fedepalma.

Notas especiales:

Disponer en campo la tusa que sale de la planta de beneficio, en un tiempo menor a un mes, aprovechando al máximo los nutrientes almacenados en las tusas (nitrógeno, potasio, calcio). Aplicar en capa sencilla o máximo en capa doble.

De la prescripción anual de fertilizantes, descontar la cantidad de nutrientes que se están adicionando con la aplicación de los subproductos al suelo, sin descuidar el monitoreo del estado nutricional de la palma.

Incrementar el número de trampas control en la medida en que aumente la población de moscas, especialmente en los sitios vulnerables a la reproducción del insecto.

Usos y beneficios de la tusa en el cultivo



Figura 6⁵. Usos de la tusa en el cultivo.

Los racimos desfrutados (tusas) de la palma de aceite son utilizados en todo el mundo para el mejoramiento de las propiedades químicas y físicas del suelo, lo cual se refleja en el mayor desarrollo de raíces, toma de nutrientes y rendimiento en la etapa joven y adulta del cultivo (Caliman et ál., 2001; Corley y Tinker, 2003; Redshaw, 2003; y Liew, 2008).

⁵**Fuente:** Archivo Centro de Documentación de Fedepalma.

Beneficios de utilizar la tusa como abono orgánico

1. Reciclar nutrientes aportados con la fertilización y/o que se han extraído del suelo, y los que se inmovilizaron en estos tejidos.
2. Con la adición de 300 kg de tusa por palma (43 t/ha) se está agregando un equivalente de 4,8 kg de KCl por palma (si se considera una concentración de K en la tusa de 0,8% en base húmeda y 85% de humedad).
3. No solo se aporta potasio, sino también concentraciones de N, P, Mg y B. Por ejemplo, el mismo aporte de 300 kg de tusa tiene un equivalente a 0,25 kg de DAP por palma (concentración media de P en base húmeda de 0,017%) y un equivalente de 10 g de borato 48 por palma.
4. Es útil en suelos bien drenados, de texturas gruesas y en suelos con horizontes con gran volumen de gravas y gravillas en el perfil, como muchos de los existentes en la Zona Oriental palmera y en otras regiones del país.
5. Estudios recientes muestran que la tusa no solo es importante por su aporte directo de nutrientes sino porque estimula la proliferación de raíces, y con ello la mejora en la eficiencia de uso de los nutrientes aplicados al agrosistema; las consecuencias son positivas porque se incrementa la masa de raíces terciarias y cuaternarias, hay mayor toma de nutrientes, menores pérdidas de los mismos hacia fuentes hídricas superficiales y aguas freáticas, menor riesgo de contaminación y ahorro para los cultivadores.
6. Las propiedades químicas y físicas del suelo se benefician, porque:
 - Se regula el pH del suelo.
 - Se incrementa la capacidad de su intercambio catiónico.
 - Aumentan los contenidos en el suelo de potasio, magnesio, calcio y fósforo, y ayudan a la neutralización de su aluminio intercambiable.
 - Mejora la permeabilidad del suelo.
 - Mejora la estructura del suelo.
7. Incrementa el carbono orgánico del suelo y por ende su materia orgánica.
8. Protege de la erosión laminar.
9. Disminuye la temperatura edáfica.
10. Mejora el almacenamiento de agua para el cultivo.

11. Mejora toda la actividad de macro, meso y microorganismos.
12. Los efectos de las tusas en el rendimiento fueron resumidos por Redshaw (2003), quien señaló que se ha encontrado para la mayoría de los suelos una repuesta positiva en 17 experimentos llevados a cabo en Malasia y Papúa Nueva Guinea. En los mejores casos se obtuvieron respuestas adicionales en rendimiento de hasta 26%.

Uso de tusas en compostaje

El compostaje es un proceso de degradación biooxidativo, controlado y realizado por organismos benéficos que en presencia de humedad, a temperatura adecuada y bajo condiciones aerobias, utilizan los nutrientes contenidos en la materia para transformarla hasta obtener un producto homogéneo denominado “compost”, libre de patógenos y estabilizado físico-químicamente (Ooi Ling et ál., 2007). La utilización de buenos sistemas de compostaje para reducir la emisión de gases y recuperación de los nutrientes permite un aprovechamiento alternativo de las tusas (Stichnothe y Schuchardt, 2010). Reduce tanto el peso como el volumen inicial del subproducto, mientras mantiene los efectos benéficos de la materia orgánica.

Los resultados de investigaciones muestran la disminución del peso y el volumen de la tusa entre 55 y 85% respectivamente, después de 14 semanas de haberse iniciado el compostaje. La alta relación inicial C/N de las tusas se puede controlar mediante la adición de productos con nitrógeno como la urea o compost maduro, que mejoran la actividad de los microorganismos para un rápido proceso. No obstante, se presentan pérdidas de potasio, fósforo y magnesio por lavado, que se pueden manejar haciendo recirculación de efluentes que mantienen la humedad en el proceso.

Para establecer una producción de compost técnica y ambientalmente amigable hay que tener en cuenta los siguientes factores que determinan la calidad:

1. **Localización e instalaciones.** Cerca al sitio de generación de subproductos y de fácil acceso vehicular y de maquinaria, con piso de baja permeabilidad para facilitar la recolección de los lixiviados y manejarlos de forma adecuada.
2. **Materia orgánica.** Relación equilibrada de C/N, un contenido de humedad alrededor del 60-70% y que naturalmente contenga mayores concentraciones de nutrientes.
3. **Relación carbono/nitrógeno.** De esta relación depende en gran medida el tiempo que tarde la degradación de los subproductos.

4. **Tamaño de la tusa.** Picar hasta obtener un tamaño adecuado que facilite una buena superficie de contacto e intercambio de oxígeno y gas carbónico (CO_2), entre otros.
5. **Dimensiones de la pila.** Debe ser de un tamaño ideal para facilitar las prácticas de volteo o aireación y de humedecimiento, las cuales van a depender de la metodología y equipos disponibles para su elaboración.
6. **Inoculación.** Permite acelerar la descomposición y el biosecado de las pilas de compostaje.
7. **Humedad.** Mantener el balance de humedad en la pila de compostaje. Debe oscilar entre 60 y 70%.
8. **Temperatura.** Controlar y hacer seguimiento a la temperatura durante el proceso, en especial para que en la fase termófila se acerque a los 60 °C, y con ello facilitar la eliminación de los patógenos y generar un ambiente ideal para las bacterias termófilas.
9. **Aireación.** Garantizar una buena y oportuna aireación utilizando equipos que permitan el rápido volteo de la pila. De esta actividad se deriva un adecuado suministro de oxígeno para la degradación microbiana, además del control indirecto de la temperatura y de la humedad.

Poco a poco las empresas palmeras han venido buscando sistemas para el buen manejo de los subproductos, no solo para generar ingresos adicionales, sino también para dar respuesta a una responsabilidad ambiental que muy pronto se convertirá en mandato legal, y las exigencias de calidad integradas a los procesos productivos. En este marco se destaca la empresa Palmeras de la Costa S.A., que en la actualidad está desarrollando un proyecto para cumplir con todos los requisitos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). La idea es aprovechar todos los efluentes y subproductos de su planta de beneficio como materia prima para un proceso de compostaje, que buscará como primer objetivo eliminar la emisión a la atmósfera de gas metano (CH_4) y, adicionalmente, la producción de un abono rico en nutrientes, que actúa como excelente acondicionador del suelo para el cultivo. En la Figura 7 se observa la evolución de la planta de compostaje en Palmeras de la Costa S.A.



Figura 7⁶. Conversión de subproductos tusa, lodo, efluente y ceniza en compost.

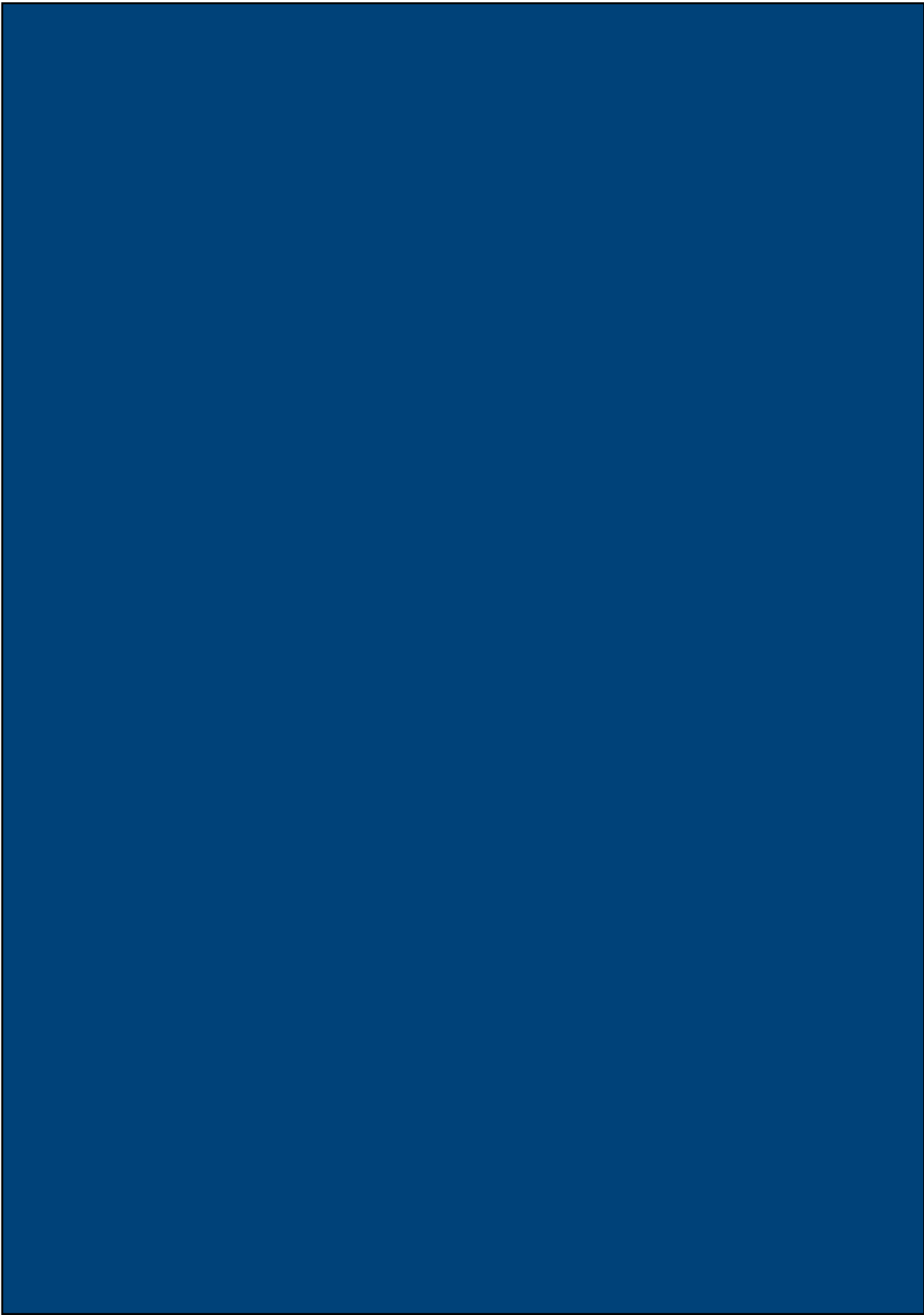
⁶Fuente: Muñoz, Héctor. Palmeras de la Costa S.A.

Segunda parte



Foto: Archivo Centro de Documentación de Fedepalma.

Lodo de fondo



Lodo de fondo

Definición

Es un subproducto semisólido generado durante el tratamiento del efluente de las plantas de beneficio de palma de aceite, que corresponde a lodos estabilizados acumulados en el fondo de la laguna anaerobia de dichos sistemas de tratamiento; con el tiempo reducen la capacidad del sistema, por lo que es necesario retirarlos del fondo de la laguna (Figura 8). Considerando su importante contenido de nutrientes, es de suma importancia aprovecharlo en el cultivo. A continuación se presentan las recomendaciones para su utilización.

Figura 8⁷. Lodos estabilizados de fondo de laguna.



Caracterización

El lodo es estabilizado en un proceso biológico generalmente por conversión de gases y tejido celular, el cual puede ser aeróbico o anaeróbico; contiene varios componentes en suspensión, incluyendo tejidos vegetales, paredes de las células, orgánulos, fibras, carbohidratos, algunos compuestos nitrogenados, y un conjunto de pequeños componentes orgánicos y minerales (Ugoji, 1997). En la Tabla 2 se encuentran las características fisicoquímicas del lodo en base seca.

Siew K. et ál. (1981) realizaron un estudio en Malasia, aplicando efluente y lodo al cultivo de palma de aceite por aspersión. Después de dos años de aplicación, encontraron que los nutrientes foliares en las palmas se incrementaron en cuanto a nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y boro, y en menor medida, en potasio y cobre; al realizar análisis al agua de drenaje cerca al área de aplicación, los resultados mostraron que no estaba contaminada (DBO menor de 20 ppm y metales como Zn, Cu y Ni inferiores a 0,15 ppm); se observó la presencia de peces en los drenajes de la zona.

⁷Fuente: Andrés Ulloa. Palmeiras Colombia S.A.

Tabla 2. Composición química del lodo en base seca.

Análisis	Unidad	Lodo
pH		8,4
Conductividad Eléctrica	dS/m	11
Carbono orgánico	%	8,5
Nitrógeno	%	5,9
Potasio	cmol/kg	31,8
Calcio	cmol/kg	41,4
Magnesio	cmol/kg	32,2
Sodio	cmol/kg	0,7
Capacidad de intercambio catiónico	cmol/kg	11
Fósforo	mg/kg	500
Boro	mg/kg	5,1
Azufre	mg/kg	388
Cobre	mg/kg	0,9
Hierro	mg/kg	2,9
Manganeso	mg/kg	4,1
Zinc	mg/kg	0,5

Fuente: Cortés. C, et ál. 2006.

Recomendaciones para el aprovechamiento de los lodos

1. **Identificar y utilizar prácticas que reduzcan al mínimo la acumulación de lodos.** Por ejemplo la utilización de la centrifuga tipo tridecanter para el tratamiento de lodos en clarificación. Disminución del agua de consumo en la planta, como el caso del agua de dilución. Cenipalma ha determinado que la dilución óptima es de 1,4 (% volumen aceite/%volumen agua).
2. **Mejorar la eficiencia del tratamiento de efluentes.** Suministrar bacterias a la laguna anaeróbica teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de cada empresa; así es posible reducir la frecuencia de su limpieza y mantener una actividad alta de microorganismos para la rápida y completa descomposición de los sólidos. La adición de bacterias nativas a las lagunas se puede verificar con la determinación de la relación búffer en el laboratorio, la cual debe mantenerse entre 0,20 y 0,30 para garantizar la alimentación continua de efluente. Si la relación está por debajo de 0,20 se debe adicionar bacterias y suspender la adición de lodo para prevenir colapso del sistema (García, 1997).

3. Identificar y remover los lodos de fondo.

- **Realizar perfil de lodos.** Identificar en la laguna los puntos clave en los cuales el lodo acumulado debe ser retirado o bombeado, realizando un perfil de lodos.
- **Remover periódicamente los lodos del fondo de las lagunas.** Prevenir la “colmatación”, evacuando los lodos cuando su altura sea superior a la tercera parte de su profundidad o cuando al realizar medición de sólidos sedimentables, la altura que se tenga de lodos sea superior a $400 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Si se va a purgar la laguna, los sólidos sedimentables deben encontrarse por encima de $900 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$.
- **Restricciones para la evacuación del lodo.** No retirar todo el lodo del fondo, pues hacerlo desestabilizaría el sistema de la laguna y afectaría la integridad del revestimiento creado sobre la tierra. Tener en cuenta el perfil de lodos realizado previamente.

4. Secado de lodos.

Debido al alto contenido de humedad (90-95%), este se debe reducir hasta alcanzar valores por debajo del 75% p/p. El secado de los lodos al aire libre se realiza en lechos de secado. Tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. El lecho debe ser simple, permeable, que permita recolectar los lixiviados y secar el lodo por evaporación. El área y diseño del lecho de secado corresponde a la capacidad del sistema de tratamiento de cada planta.
- b. Impermeabilizar el piso del lecho de secado y tener una sección de tubos perforados que drenen el lixiviado para su posterior recolección. En las figuras 9 y 10 se observa un ejemplo para la aplicación de lechos de secado por transporte del lodo con carro tanque o mediante tubería por bombeo.
- c. Ubicar encima de los tubos capas de arena (entre 20 y 30 cm) y grava (20 cm) para sostener el lodo y permitir que el líquido se infiltre y sea recolectado en la tubería.
- d. Se recomienda que la carga aproximada de lodos sea de 200 kg/m^2 de sólidos totales aplicada en capas delgadas de entre 20 y 30 cm.
- e. La deshidratación de los lodos se hace durante un periodo aproximado de 2 a 3 semanas hasta que sea manipulable con pala.
- f. Después de la deshidratación, retirar el lodo seco y verificar el espesor del lecho de arena y si es necesario se debe completar con más arena.

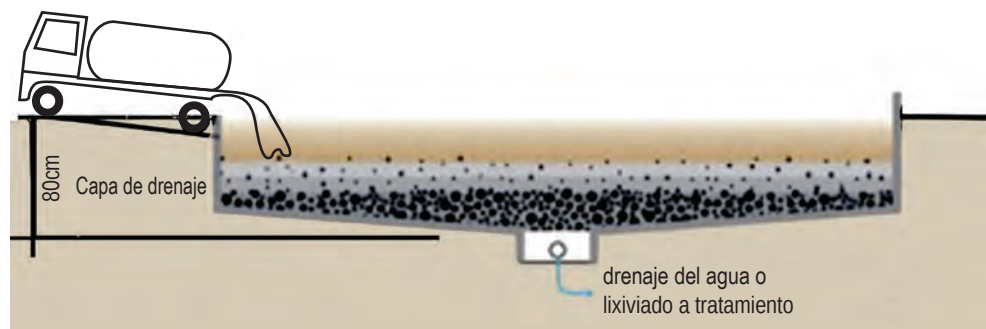


Figura 9. Aplicación de lodo al lecho de secado con carrrotanque.

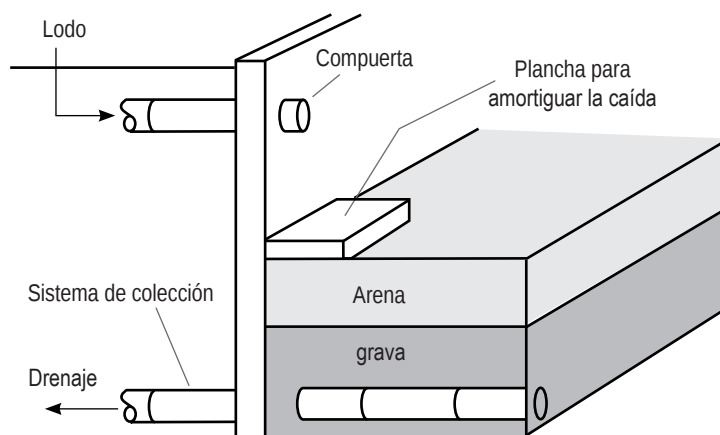


Figura 10. Aplicación de lodo al lecho de secado por bombeo.

- g. El lixiviado obtenido requiere tratamiento secundario, puede ser enviado nuevamente al sistema de tratamiento de efluente.
- h. Cubrir los lechos de secado con un techo que permita el paso de los rayos solares pero que impida el ingreso de aguas lluvias.
- 5. **Descontar los aportes de nutrientes con la aplicación de lodos.** De la prescripción anual de fertilizantes, descontar la cantidad de nutrientes que se están adicionando con la aplicación de lodos al suelo, sin descuidar el monitoreo del estado nutricional de la palma.
- 6. **Sistemas de aplicación, dosis y frecuencias de aplicación.** El lodo seco se aplica a los cultivos de palma de aceite espolvoreado o esparcido en el área del

plato sin que entre en contacto directo con los tejidos vegetales. De acuerdo con las consideraciones iniciales de este documento, se puede programar cada dos años. La dosis de aplicación se establece considerando la edad del cultivo y los requerimientos específicos de manejo del suelo. En palma joven las dosis varían entre 0,7 y 1,4 t ha⁻¹, lo que equivale a 5-10 kg de lodo por palma. En palma adulta las dosis varían de 1,4 a 2,9 t ha⁻¹, lo que equivale a 10-20 kg de lodo por palma.

En palmas de vivero es posible utilizar el lodo seco como un suplemento nutricional.

Notas especiales:

La aplicación del lodo se puede programar cada dos años, espolvoreado o esparcido en el plato sin tener contacto directo con los tejidos vegetales.

Para remover el lodo del fondo de la laguna, realizar previamente un perfil de lodos.

En algunas plantas de beneficio de Malasia para la rápida recolección y secado de lodos de fondo, utilizan un filtro prensa móvil, y al final del procedimiento adicionan a la laguna bacterias para mantener una alta actividad de los microorganismos.

Usos y beneficios del lodo en el cultivo

Diversos estudios demuestran el potencial que tiene la aplicación de los lodos en el cultivo como complemento de la fertilización. Por su alto contenido de macro y micronutrientes, contribuye al incremento en la producción de frutos y es adecuado para su utilización en la producción de compost (Corley et ál., 2009; Brugés et ál., 2000).

El lodo con su alto contenido de materia orgánica produce el mejoramiento de la estructura de los suelos, importante para texturas muy granulosas, arenosas y arenosas francas. También incrementa la capacidad de retención del agua, especialmente en épocas de verano y baja pluviosidad. Asimismo favorece la coexistencia en el suelo de diferentes especies de microorganismos, aumentando considerablemente las enzimas y los metabolitos microbianos, lo que beneficia la estimulación de sustancias de acción fitohormonal y la producción de vitaminas y aminoácidos, entre otros (Cuervo, 1999).



Figura 11⁸. Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

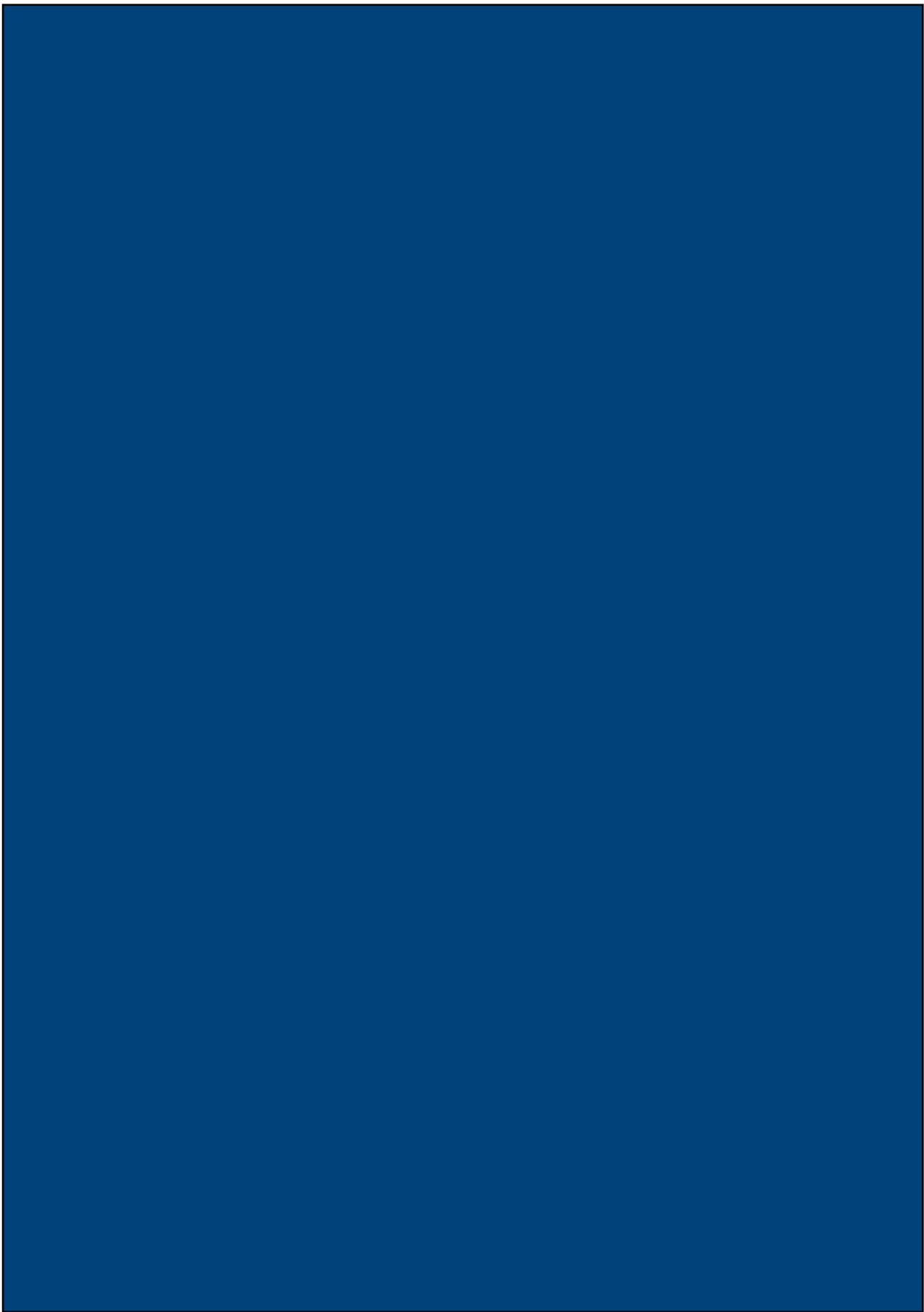
⁸**Fuente:** Archivos Centro de Documentación de Fedepalma.

Tercera parte



Foto: Palmeras de la Costa S.A.

Ceniza



Ceniza

Definición

Producto resultante de la combustión de la mezcla de fibra y cuesco en la caldera de las plantas de beneficio. El uso de las cenizas en el sector palmero se ha enfocado a la aplicación directa en el suelo de las plantaciones y a complementar los procesos de producción de compost, por sus importantes contenidos de potasio. Por cada tonelada de racimo de fruta fresca procesado, se obtienen entre 4 y 6 kg de ceniza, cuya estructura es granular y porosa, de tamaño fino en su mayor parte, pero también se encuentran partículas grandes.



Figura 12⁹. Ceniza de fibra y cuesco.

Caracterización

Debido a su notable contenido de potasio y en menor proporción de nitrógeno, fósforo, magnesio y calcio, se podría utilizar como fertilizante. En estudios realizados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, se encontró que los límites de lixiviación de cadmio, plomo, cobre y níquel son de 1, 5, 100 y 100 mg/L, respectivamente. Lo cual indica que la ceniza no es tóxica en términos de metales pesados lixiviables, ya que sus concentraciones son inferiores a 0,2 mg/L (Chun Yang et ál., 2007). Las cenizas tienen un efecto encalante e históricamente se han usado para mejorar suelos en extremo ácidos (no solo en palma). La composición nutricional de la ceniza encontrada en 10 plantas de beneficio de Malasia se muestra en la Tabla 3.

⁹**Fuente:** División de Servicios Técnicos Especializados de Cenipalma.

Tabla 3. Composición de ceniza en base seca.

Elementos nutricionales	Porcentaje (%)
Potasio	1,02 - 4,31
Calcio	0,39 - 3,24
Magnesio	0,29 - 2,60
Fósforo	0,28 - 1,33
Nitrógeno	trazas

Fuente: Rusnani Abd et ál., 1999.

Recomendaciones para el aprovechamiento de la ceniza

1. **Al retirar la ceniza del hogar de la caldera, del ciclón o mult ciclones.** Realizar una aspersión con agua para facilitar su manejo y no permitir su dispersión en el ambiente.
2. **Recolección y almacenamiento.** Colectar la ceniza junto a la caldera en recipientes que impidan su derrame dentro de la planta de beneficio. En caso de ser necesaria la acumulación de ceniza en la planta de beneficio, almacenarla en un lugar cerrado donde se evite que las lluvias o el viento puedan arrastrarla (se recomienda una zona con piso impermeable y techo). Algunas plantas de beneficio del país, como Palmas del Cesar, cuentan con un sistema para la recolección de cenizas que facilita el almacenamiento y posterior distribución en el campo, como se observa en la secuencia de la Figura 13.
3. **Determinación porcentual de la relación másica.** Pesar la ceniza producida en la planta y posteriormente transportarla en vagones o contenedores cubiertos hasta la parcela o lote para su aplicación.
4. **Dosis y aplicación.** Después de tener el plan de aplicación de cenizas conforme a un programa de complementación de la fertilización del cultivo, se recomienda priorizar suelos ácidos con valores de pH menores de 5,5 en áreas para siembras nuevas y de renovación, en las cuales las dosis oscilan entre 1 y 2 t ha⁻¹. Para aplicación localizada de ceniza en palmas con déficit de potasio y magnesio se recomiendan dosis de 1-3 kg por palma aplicada en toda el área del plato, sin que entre en contacto directo con los tejidos vegetales. Incorporar la ceniza al suelo en las calles de palera mediante la utilización de una rastra muy superficial que permita el contacto de la ceniza con el suelo para un mayor aprovechamiento. Es posible utilizar la ceniza en palmas de vivero como suplemento nutricional.



Figura 13¹⁰. Procedimiento para recolección de ceniza a la salida de la caldera.

Notas especiales:

Fomentar prácticas que eviten el contacto de las cenizas con la lluvia y el suelo, o su acumulación en espacios donde pueda ser esparcida por acción del viento.

Realizar la aplicación de la ceniza principalmente en zonas para renovación o suelos ácidos con pH por debajo de 5,5.

Incorporar la ceniza al suelo en las calles de palera mediante la utilización de una rastra muy superficial que entre en contacto con el suelo.

Usos y beneficios de la ceniza en el cultivo

En la actualidad, la ceniza procedente de la incineración de la fibra y el cuesco en las calderas de las plantas de beneficio se utiliza como fuente de fertilizante para ser distribuidas en el cultivo de palma de aceite, por su alto contenido de potasio, calcio, magnesio y fósforo.

¹⁰**Fuente:** Fernández, Carlos. Palmas del Cesar.



Figura 14¹¹. Cultivo de palma de aceite .

En estudios consultados se encuentra que la ceniza es usada como reemplazo de cemento, hormigón, aditivos, absorbente de gases contaminantes, absorbente de metales pesados y para pulimiento de efluentes de las plantas de beneficio de aceite de palma (Chun Yang et ál., 2007).

La aplicación de 4 kilos de ceniza por palma incrementó la producción de racimos en cultivos de 6 años de edad; también aumentó la concentración de potasio en los tejidos, y mejoró el pH del suelo (Othman et ál., 2005).

¹¹**Fuente:** Archivos Centro de Documentación de Fedepalma.

Agradecimientos

A los comités asesores de plantas de beneficio, a las plantas de beneficio que aportaron las fotografías, a la División de Servicios Técnicos Especializados, al Programa de Procesamiento de Cenipalma, y a la Unidad de Planeación y Desarrollo Ambiental de Fedepalma.

Glosario

- **Bosques de galería:** Se denomina así a la vegetación que sobrevive por la humedad del suelo, y que crece, por lo general frondosamente, en las orillas de un río. Dan cobijo a gran cantidad de animales y particularmente de aves.
- **Bosques de vega:** También llamados riparios, son aquellas vegetaciones que crecen o se establecen a lo largo de un curso fluvial, porque un alto porcentaje de su flora es reófitas; es decir, presenta síndromes de dispersión por agua o es poco tolerante al déficit hídrico en los suelos. Con frecuencia esa vegetación reófitas y riparia se estructura de tal manera que produce el efecto de un corredor de vegetación por el que discurre el cauce que la alimenta.
- **Bulbo:** Tallo o brote subterráneo y globoso de algunas plantas, en cuyas hojas se acumula la reserva nutritiva.
- **Efluente:** Descarga de aguas residuales sin tratar, tratada parcial o totalmente a ríos, lagunas, quebradas, etc.
- **Geomembrana:** Son láminas flexibles fabricadas de polímeros resistentes, aditivos y plastificantes, que la hacen recomendable en impermeabilizaciones convencionales, como en pozas de lixiviación y reservorios para agua. Su elongación es de 300%, lo que le permite adaptarse con facilidad a la forma del terreno.
- **Geotextil:** Tela o tejido que se asemeja a un textil que se utiliza en obras de ingeniería para separar estratos diferentes y delimitar distintos tipos de suelos. Es útil en obras tales como construcción de carreteras, presas, obras de drenaje, y estabilización y amioración de la erosión en taludes y pendientes, entre otras.
- **Horizontes del suelo:** Serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes caracteres de composición, textura, adherencia, etc. El perfil del suelo es la ordenación vertical de todos los horizontes.
- **Lignocelulósico:** Se refiere a la biomasa de las plantas, que está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina.
- **Lixiviados:** Líquido que se ha filtrado a través de los sólidos u otros medios y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos; puede contener materiales potencialmente dañinos.
- **Material encalante:** Es aquel utilizado primordialmente para neutralizar la acidez del suelo y aportar al edafosistema elementos como calcio y magnesio. Existen múltiples materiales encalantes; los más conocidos son las cales agrícolas y las cales dolomitas.
- **Metales pesados:** Grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para los seres humanos. Los metales pesados tóxicos más conocidos son: mercurio, plomo, cadmio y talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en raras ocasiones, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio.

- **Morichales:** Vegetación que crece en zonas donde las corrientes de agua son muy tranquilas, y se nutren de aguas muy limpias que han sido filtradas en los arenales de los suelos de las sabanas. El suelo del morichal es limoso, pantanoso y anegadizo. Se puede decir que los moriches crecen casi exclusivamente en lugares permanentemente anegados. Los morichales son abundantes en los Llanos Orientales.
- **Nivel freático:** Es la parte superior saturada de agua en el suelo o en el subsuelo, y puede encontrarse a distintas profundidades. Asimismo, el nivel freático afecta los niveles de crecida y, dependiendo del uso de la tierra, sus variaciones pueden ser beneficiosas o perjudiciales.
- **Oviposición:** Acción de poner huevos en o sobre un huésped.
- **Plantas nectaríferas:** Son arvenses capaces de producir flores con jugos azucarados y polen, que juegan un papel importante en la alimentación de la fauna benéfica. Esto trae como consecuencia una reducción en la población de parasitoides y, por tanto, un menor control de los barrenadores.
- **Relictos de bosques:** Vegetación que queda como vestigio de algún tipo de flora que alguna vez hubo en la zona, y que en el presente solo está como muestra de vegetación de lo que en el pasado fue.
- **RFF:** Racimos de fruto fresco de palma de aceite.
- **Rondas de ríos:** Franjas de terreno que corren de manera paralela de lado a lado, de la línea de borde del cauce permanente de corrientes de agua. Incluyen las áreas donde nacen los ríos y quebradas de los cerros orientales, como reservas ecológicas de gran valor ambiental.
- **Spalangia sp:** Avispa que parasita la mosca en su estado de pupa y pertenece al mismo orden Himenóptera, en el que se ubican las abejas y las hormigas.
- **Strategus aloeus:** Es una de las plagas más importantes que ataca palmeras jóvenes (3-10 años de edad). Este insecto perfora cerca de la base de la planta y construye galerías de 50 centímetros o más, y penetra al plato radical, comiéndose los tejidos internos de la palma. Muy a menudo destruye el meristemo apical, lo que causa la muerte de la planta.
- **Subproducto:** Producto secundario, útil y comercializable, derivado de un proceso que no es un producto primario o el servicio que se produce, al cual se le puede sacar una segunda utilidad, se crea la posibilidad de obtener un beneficio. No es un desecho porque no se elimina y se usa para otro proceso distinto.
- **UMA:** Es la sigla de “unidad de manejo agronómico” y corresponde a una unidad espacial de cultivo de palma de aceite dentro de la cual hay una relativa homogeneidad de las características de los recursos biofísicos que intervienen en la producción, como clima, suelo, agua, material de siembra y edad del cultivo.

Bibliografía

- Azhari, et ál. 2010. Effects of palm oil mill effluent (POME) anaerobic sludge from 500 m³ of closed anaerobic ethane digested tank on pressed-shredded empty fruit bunch (EFB) composting process. *African Journal of Biotechnology* 9.
- Brugés, C.; García, J.A.; Dueñas, J.; Zapata, G.; Guevara, M.L. 2000. Evaluación económica de sistemas de tratamiento de efluentes para una planta extractora de aceite de palma. *Palmas (Colombia)* 21 (1) Número especial.
- Cala, G.; Bernal, G. 2008. Procesos modernos de extracción de aceite de palma. Fedepalma-SAC-SENA. Colombia.
- Caliman, J.P.; Saletes, M.B.S. 2001. Dynamics of nutrient release from empty fruit bunches in field condition and soil characteristics changes. Proceedings of the 2001 *PIPOC International Palm Oil Congress* (Agriculture) pp. 550-556.
- Chiew Lim Kim; Rahman Zaharah. 2002. The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition and yield, and soil chemical properties. *Journal of Oil Palm Research* 14 (2) pp. 1-9.
- Chun Yang Yin; Sharifah Aishah Syed Abdul Kadir; Ying Pei Lim. 2008. An investigation into physicochemical characteristics of ash produced from combustion of oil palm biomass waste in a boiler. *Fuel Processing Technology* 693-696.
- Corley, R.H.V.; Tinker P.B. La palma de aceite. 2009. World Agriculture Series, 4ª. edición.
- Corley, R.H.V.; Tinker, P.B. 2003. *The oil palm*. Blackwell. p. 410.
- Cortés, C.; Chayón, G. 2006. Respuestas fisiológicas de palma de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca. *Palmas (Colombia)* 27 (4).
- Cuervo, H. 1999. *Diagnóstico del manejo y control de efluentes en plantas de beneficio de aceite de palma de la Zona Oriental*. Villavicencio.
- Estiasih, T. et ál. 2010. Emulsifying properties of phospholipids fractions from palm pressed fiber. *International Oil Palm Conference*. Yogyakarta, Indonesia.
- García, J.A. 1996. Arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización. Manejo de efluentes de plantas extractoras de aceite de palma. *Boletín técnico* 11. Cenipalma.
- García, J.A.; Cárdenas, M.M.; Yáñez, E.E. 2010. Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Palmas (Colombia)* 31(2).
- García, J.A.; García, M.;K. C. Das. 2008. *Determination of kinetic parameters of thermal degradation of palm oil mill by-products Using thermogravimetric analysis and Differential scanning calorimetry*. ASABE ISSN 0001-2351.

- García, J.A.; Uribe, L.D. 1997. Diseño de lagunas de estabilización. Manejo de efluentes de plantas extractoras. *Boletín técnico* 10. Cenipalma.
- González, M.J. 2010. Evaluación de diferentes fuentes de potasio para reducir el doblamiento foliar en palma de aceite = Evaluation of different sources of potassium to reducing leaf bending on oil palm. *Palmas* (Colombia) 31(3): 17-25.
- Gurmit S.; Kow D.L.; Lee K.H.; Lim K.C.; Loong S.G. 1999, Empty Fruit Bunches as mulch. In: *Oil Palm and the Environment - A Malaysian Perspective* (Ed. by Gurmit Singh et ál.) pp. 171-183, Malaysia Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur.
- Haron, K. 2010. Reciclaje de nutrientes y manejo de residuos durante la resiembra de palma de aceite en Malasia = Recycling of nutrients and waste management at renovation of oil palm in Malaysia. *Palmas* (Colombia) 31(1): 234-254. Número especial.
- Isroi, R. et ál. 2010. Biological pretreatment of oil palm empty fruit bunches with tree isolate of white-rot fungi. *International Oil Palm Conference*. Yogyakarta, Indonesia.
- K. Kanapathy; Jorgenses, H.K.; Gurmit Singh. 1981. Preparation and Utilization of Dried Palm Oil Mill Effluent (POME). *Proceedings of national workshop on oil palm by-product utilization*.
- Kala, D.R.; Rosenani, A.B.; Fauziah, C.I.; Thohirah, L.A. 2009. Composting Oil Palm Wastes and Sewage Sludge for Use in Potting Media of Ornamental Plants. *Malaysian Journal of Soil Science* 13.
- Laiton Philliberth. 2010. Trabajo con prensa de tusas. *Palmas* (Colombia) 31 (4).
- Liew Voon Kheong; Zaharah A.; Rahman et ál. 2010. Nutrient absorption by oil palm primary roots as affected by empty fruit bunch application. *Journal of Oil Palm Research* 22: 711-720.
- Liew voon Kheong; Zaharan Rahman. 2010. Empty Fruit Bunch Application and Oil Palm Root Proliferation. *Journal of Oil Palm Research* 22: 750-757.
- Liew Voon Kheong. 2008. Effects of empty fruit bunches application on oil palm root distribution, proliferation and nutrient uptake. PhD dissertation, University Putra Malaysia. p. 205
- Ling-Hoak Ooi. 2007. Conversión de efluentes y tusas en fertilizante orgánico con cero desperdicios. *Palmas* (Colombia) 28(2) Número especial.
- Mazorra Miguel Ángel. 2002. Guía ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite. Fedepalma-MAVDT.
- Millati, R.; Syamsiah, S.; Bahrudin, Z. 2010. Biological pretreatment of oil palm empty fruit bunches with three isolates of white-rot fungi. *International Oil Palm Conference*. Indonesia.
- Miranda, H. et ál. 2007. Manejo sostenible de efluentes y tusas en plantas de beneficio de palma de aceite mediante un nuevo proceso. *Palmas* 28 (2) Número especial.

- Mosquera, M. et ál. 2007. Mejores prácticas en plantas de beneficio para el procesamiento de fruto de palma de aceite en Colombia. *Boletín técnico* 19. Cenipalma.
- MPOB Information Series No. 440. 2008. Effective effluent management system.
- Othman H. et ál. 2005. Bunch ash: an efficient and cost-effective K fertilizer source for mature oil palm on peate under high rainfall environment. *MPOB Information Series No.* 254.
- Cenipalma-ICA seccional Meta y Casanare. 2002. Plan de manejo de la mosca de los establos *Stomoxys Calcitrans* en los Llanos Orientales de Colombia.
- Rahman, S.H.A.; Choudhury, J.P.; Ahmad, A.L.; Kamaruddin, A.H. 2007. Optimization Studies on Acid Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber for production of Xilose. *Bioresource Technology* 98: 554-559.
- Redshaw, M. 2003. Utilization of field residues and mill by products. In: *Oil Palm Management for large and sustainable yields*. (ed) Fairhurst, T. Hardter, R. 307-317.
- Rusnani Abd Majid; Ma Ah Ngam, 1999. Properties of boiler fly ash from various palm oil mills. *PORIM Bulletin* 38.
- Santos, J. et ál. 2000. Experiencias en la utilización de aguas residuales y lodos del fondo de las lagunas de estabilización en la plantación Palmar del Oriente. *Palmas* 21 (1) Número especial.
- Schuchardt, F. et ál. 2008. Effect of a new palm oil mill processes on the EFB and POME utilization. *Journal of Oil Palm Research*. p. 115-126.
- Silva Electo. 2007. Potencial de cogeneración de energía eléctrica en la agroindustria colombiana de palma de aceite. *Palmas* 28 (2) Número especial.
- Siregar F.A, et ál. 2002. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *Proceedings of agriculture conference, International Oil Palm Conference*. Nusa Dua, Bali.
- Stichnothe, H. Schuchardt, F. 2010. Economic benefits of using aerated bunkers to produce consistent high quality compost from palm oil mill by-products. *International Oil Palm Conference* 1-3 June 2010. Yogyakarta, Indonesia.
- Stichnothe, H., Schuchardt, F. 2010. Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. *Int. J. Life Cycle Asses* 15, 907-915.
- Torres, R. et ál. 2004. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma de aceite. *Palmas* 25 (2) Número especial.
- Zaharah A.; Lim K.C. 2000. Oil Palm Empty Fruit Bunch as a Source of Nutrients and Soil Ameliorant in Oil Palm Plantations. *Malaysian Journal of Soil Science* 4: 51-66.

Colección Boletines Técnicos

Fedepalma - Cenipalma

- No. 1 Reconozca usted la Marchitez sorpresiva. 1ª ed. Enero 1986
- No. 2 El gusano canasta. *Oiketicus Kirbyi* Guía. Enero 1987
- No. 2A Importancia de la adecuada capacidad de almacenamiento de aceite de palma. 1ª ed. Abril 1987
- No. 3 Material plantable de la palma africana de aceite. Mayo 1987
- No. 4 Anillo rojo en palma africana. Diciembre 1988
- No. 5 Guía de los usos del aceite de palma. Mayo 1989
- No. 6 Importancia de una adecuada capacidad de almacenamiento de aceite de palma. 2ª ed. Febrero 1989
- No. 7 Certificados de depósito y bonos de prenda para el aceite de palma africana. Septiembre 1989
- No. 7A Reconozca usted la Marchitez sorpresiva. 2ª ed. Septiembre 1990
- No. 8 Mancha anular de la palma africana. Febrero 1991
- No. 9 Anillo rojo - Hoja corta en palma de aceite.
1ª ed. Abril 1995 - 2ª ed. Diciembre 2004
- No. 10 Manejo de efluentes de plantas extractoras. Marzo 1996
1. Arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización.
- No. 11 Manejo de efluentes de plantas extractoras. Marzo 1997
2. Diseño de lagunas de estabilización.
- No. 12 Guía general para el muestro foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. 1ª ed. Mayo 1998 - 2ª ed. Octubre 2002.
- No. 13 Diagnóstico y manejo preventivo de las enfermedades virales de la palma de aceite en la Zona Occidental de Colombia. 2001
- No. 14 Selección y descarte en plantas de vivero. Mayo 2002
- No. 15 Biología, hábitos y manejo de *Cyparissius* (Castnia) *daedalus* Cramer. Barrenador gigante de la palma. Septiembre 2002
- No. 16 Manejo de *Leptopharsa gibbicarina* Froeschner, insecto inductor de la Pestalotiopsis. Septiembre 2002
- No. 17 Referenciación competitiva para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Estudios de cosecha y control de pérdidas en la Zona Central. Mayo 2005
- No. 18 Mejores prácticas de cosecha. Mayo 2006
- No. 19 Mejores prácticas en plantas de beneficio. Febrero 2007

- No. 20 Selección de palmas de aceite élite para donación. Marzo 2007
- No. 21 Biología, hábitos y manejo de *Sagalassa valida* Walker.
Barrenador de raíces de palma. Diciembre 2006
- No. 22 Marchitez letal en palma de aceite. Diciembre 2007
- No. 23 Biología, hábitos y manejo de *Rhynchophorus palmarum* L. Junio 2010
- No. 24 Tecnologías para la obtención de oleoquímicos provenientes del aceite de palmiste. Diciembre de 2008
- No. 25 Referenciación competitiva a los sistemas de evacuación y alce de fruto. Junio 2010
- No. 26 Metil éster sulfonado: una generación nueva de surfactantes. Noviembre 2010
- No. 27 Recuperación de almendra: sintonización de columnas de separación neumáticas en plantas de beneficio. Diciembre 2011
- No. 28 Medición del potencial industrial de aceite en plantas de beneficio usando sistemas de medición de caudal tipo vertederos: diseño y operación. Diciembre 2011
- No. 29 Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación. Diciembre 2011

Cenipalma advierte expresamente a todos los usuarios, miembros, consultantes y demás terceros interesados que las investigaciones que adelanta, los informes o resultados que socializa, las exposiciones, presentaciones, conferencias, documentos, así como la información que difunde como consecuencia de los estudios, inferencias y demás análisis realizados al interior de la entidad o contratados por ella –sin perder su rigor y profundidad profesional–, sólo tienen carácter informativo, de consulta, de difusión y de referencia estadística, académica o científica. En ningún caso constituyen axiomas para su estricta observancia, ya que en el mejor de los casos podrían interpretarse como simples consejos o recopilaciones de experiencias analizadas, para ser estudiadas, utilizadas o aplicadas por quienes acceden a ellas, de acuerdo con su propio criterio, bajo su exclusiva responsabilidad, según su leal saber y entender. Esto, en razón de que cada situación resulta única y particular y requiere de tratamientos o soluciones específicas que escapan de la competencia de Cenipalma. Por tanto, se trata de socializaciones según el estado actual de la técnica y de los avances científicos idóneamente realizados, que han sido valorados por el Centro hasta el momento presente, sin tener en cuenta escenarios concretos detallados ni casos particulares.