

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL COMPOSTAJE COMO
ALTERNATIVA DE MANEJO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA
AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE.**

**JENNY CAROLINA OSMA AFANADOR
CAROLINA ROCÍO ZAMBRANO PEREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL COMPOSTAJE COMO
ALTERNATIVA DE MANEJO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA
AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE.**

**JENNY CAROLINA OSMA AFANADOR
CAROLINA ROCÍO ZAMBRANO PEREZ**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**DIRECTOR:
SERGIO AUGUSTO GUERRA CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUÍMICAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. Efluentes líquidos del proceso.....	16
1.2.1.1. Tratamiento preliminar (tanques florentinos).....	18
1.2.1.2. Laguna de ecualización.....	18
1.2.2. Residuos sólidos orgánicos del proceso.....	22
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
3. MARCO REFERENCIAL.....	26
3.1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	26
3.2. PROCESO DE COMPOSTAJE.....	28
3.2.1 Definición.....	28
3.2.2 Fases del compostaje.....	29
3.3. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE.....	30
3.3.1 Compost en superficie.....	30
3.3.2. Compost en montón.....	31
3.3.3. Compost en cajoneras o silos.....	32
3.4. APLICACIONES DE COMPOSTAJE, COMO TRATAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA.....	34
3.4.1 A nivel internacional.....	34
3.4.2 A nivel nacional.....	38
3.5. VARIABLES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	40
3.5.1. Relación carbono/nitrógeno.....	40
3.5.2. Área superficial de exposición.....	40
3.5.3. Aireación o disponibilidad de oxígeno.....	41

3.5.4. Humedad.	41
3.5.5 Temperatura de la pila de compostaje.....	41
3.5.6. Temperatura exterior.	41
3.5.7 pH.	41
3.5.8 Tamaño de partícula.	42
3.6. ANÁLISIS REQUERIDOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL COMPOSTAJE.	42
3.7. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS IDEALES DEL COMPOST.....	42
4. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COMPOSTAJE..	45
4.1. COMPONENTES DEL SISTEMA	45
4.1.1. Transporte de los residuos sólidos de la extractora a la planta de compostaje.....	45
4.1.2. Sistemas para cuantificar los residuos ó materias primas de la planta de compostaje.....	45
4.1.4. Armado de pilas.	46
4.1.5. Etapa de iniciación o fase mesofílica.	46
4.1.6. Etapa de aplicación o fase termófila.	46
4.1.7. Etapa de terminado.	46
4.1.8. Reservorio para efluente.....	46
4.2 ELEMENTOS CLAVES PARA ESTABLECER UNA PRODUCCIÓN DE COMPOSTAJE EXITOSA.....	47
4.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.	49
4.3.1. Localización de la planta de compostaje.....	50
4.3.2. Dimensiones y cálculos de la planta de compostaje.....	51
4.3.2.1. Área para almacenamiento de residuos sólidos	51
4.3.2.3. Área requerida para el proceso.	51
4.3.2.4. Área de vías internas.....	53
4.3.3. Maquinaria necesaria.....	53
4.3.3.1. Equipo volteador.....	54

4.3.3.2. Astilladora o trituradora.....	55
4.3.3.3. Retroexcavadora o pala frontal.....	55
4.3.3.4. Camión aljibe.....	56
5. COSTOS DE PRODUCCION DE COMPOSTAJE.....	57
5.1. ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS.....	57
5.2. ANALISIS VOLUMÉTRICO DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA PLANTA EXTRACTORA.....	57
5.3. ÁREA REQUERIDA DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.....	58
5.4. COSTO UNITARIO DEL COMPOSTAJE.....	59
5.4.1. Nómina.....	59
5.4.2. Costo operación volteadora.....	61
5.4.3. Costo operación camiones.....	62
5.4.4. Gastos administrativos.....	63
5.4.5. Servicios de energía.....	63
5.4.6. Depreciación.....	63
5.4.7. Interés anual.....	63
5.4.8. Total general. Es la sumatoria de todos los ítems anteriormente descritos.....	64
5.4.9. Costo tonelada de compostaje.....	64
6. CONCLUSIONES.....	65
BILIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características químicas y físicas de la fibra de pinzote, planta procesadora Palo Seco, Quepos – Costa Rica.	27
Tabla 2. Manejo tradicional de los desechos orgánicos.....	28
Tabla 3. Características químicas (% sobre la base de materia seca) y físicas del compost obtenido a partir de desechos agroindustriales de la palma aceitera. Planta Palo Seco, Quepos, Costa Rica.	34
Tabla 4. Variables del tratamiento del compost a partir de desechos orgánicos de la planta extractora.....	35
Tabla 5. Cuadro comparativo entre el método tradicional y el compostaje.	39
Tabla 6. Descripción específica de los tratamientos.	40
Tabla 7. Requisitos específicos para fertilizantes o abonos orgánicos.	44
Tabla 8. Equipos volteadores según la capacidad de producción	54
Tabla 9. Cantidad de volumen de de residuos generados en la planta de compostaje diarios.	58
Tabla 10. Toneladas de compost producido.	58
Tabla 11. Total del área requerida para procesar el compostaje.	59
Tabla 12. Factores influyentes en el costo del compostaje.	59
Tabla 13. Costo operación de la máquina volteadora.	61
Tabla 14. Costo de operación de los camiones.	62
Tabla 15. Depreciaciones de las inversiones.	63
Tabla 16. Total de inversiones.	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Diagrama de flujo y balance de materiales del proceso de extracción de aceite de palma.	17
Figura No. 2. Tanques florentinos.....	19
Figura No. 3. Sistema espina de pescado.	21
Figura No. 4 Porcentaje de los residuos sólidos orgánicos del proceso de la extracción del aceite de palma.	23
Figura No. 5 Distribución de tusas en la plantación de palma.	24
Figura No. 6 Fases del proceso de compostaje.....	30
Figura No. 7 Diagrama de flujo del manejo de desechos de la planta extractora.	37
Figura No. 8. Balance de los compuestos utilizados en el compostaje.....	37
Figura No. 9 Comportamiento de materia orgánica en la finca aplicada con compost.	38
Figura No. 10 Diagrama de flujo del proceso de obtención del compostaje.	38
Figura No. 11 Esquema del proceso de obtención del compostaje.	45
Figura No. 12 Flujograma del proceso de obtención del compostaje.	47
Figura No. 13. Retroexcavadora o pala frontal.	55
Figura No. 14 Camión aljibe.....	56

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Costos del personal.....	69
Anexo B. Servicios de energía.....	69

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA DE MANEJO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE*.

AUTORES: OSMA, Jenny Carolina, ZAMBRANO, Carolina Rocío**

PALABRAS CLAVES: Compostaje, subproductos, aceite de palma, aerobio, pilas móviles.

CONTENIDO:

La agroindustria de la palma de aceite se caracteriza por la generación de grandes cantidades de biomasa (raquis, fibra, cascarilla, cenizas y lodos), resultante de los procesos de extracción de aceite, los grandes volúmenes de estos residuos se convierten a menudo en una problemática de manejo ambiental, técnica y económica para la mayoría de las empresas dedicadas a este negocio. Dentro de este marco, el compostaje se presenta como una alternativa de manejo por medio de sus diferentes clases y métodos en la transformación de residuos orgánicos. El objetivo principal de este trabajo es evaluar la viabilidad técnica del compostaje como alternativa de manejo de los subproductos de la agroindustria de la palma de aceite.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, se determinó que las variables influyentes en el proceso del compostaje son, la relación carbono/nitrógeno, área superficial de exposición, aireación, humedad, temperatura de la pila, temperatura ambiente, pH, y tamaño de partícula.

Con el fin de estimar el costo de producción de una tonelada de compostaje, se realizó un análisis técnico, en dónde se concluyó que el costo de ésta es de \$74.401, teniendo como base la generación de 218,55 Toneladas de residuos diarios, inversiones iniciales, tales como, compra de equipos y la adquisición de la tierra.

Los resultados obtenidos de la comparación de diferentes técnicas de compostaje muestran que el proceso aerobio, con pilas móviles, bajo cubierta, haciendo uso de una volteadora y utilizando la infraestructura existente en la planta extractora, es la técnica más recomendable, porque evita la emisión de metano, reduce las altas inversiones iniciales, es la más amigable con el medio ambiente y disminuye el tiempo de descomposición de 120 a 84 días, devolviéndole al suelo los nutrientes y materia orgánica.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físicoquímica. Escuela de ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Sergio Augusto Guerra Castellanos.

TITLE: Evaluating the technical viability of composting as an alternative management of agro-products of oil palm. *

AUTHORS: OSMA, Jenny Carolina, ZAMBRANO, Carolina Rocío**

KEY WORDS: Composting, products, palm oil, aerobic, mobile cell system.

CONTENT:

The palm oil agroindustry is characterized by the generation of large amounts of biomass (stalk, fiber, husk, ash and sludge) resulting from the processes of extracting oil, the large volumes of these wastes turn often into an issue of technical, economical, and environmental management for most of the companies engaged in this business. Within this framework, composting is presented as a management alternative through its different types and techniques in the processing of organic waste. The main objective of this study is to evaluate the technical viability of composting as an alternative management of agro-products of oil palm.

Considering the literature review, it was determined that the influencing variables in the process of composting are, the carbon/nitrogen, surface area of exposure, aeration, moisture, temperature of the cell, environment temperature, pH and particle size

In order to estimate the cost of producing one ton of compost, we conducted a technical analysis, where it was concluded that the cost of this is \$ 74,401, based on the generation of 218.55 tons of waste daily, initial investment such as, purchase of equipment and land acquisition.

The results obtained through the comparison of different composting techniques show that the aerobic process, mobile battery, under cover, using a tumbler and existing infrastructure in the extraction plant, one of the greenhouse gas emissions, reducing the high initial investment, is friendlier to the environment and decreases the decay time of 120 to 84 days, returning to the soil nutrients and organic material.

* Monograph

** Faculty of Physicochemical Engineering's. School of Chemical Engineering. Specialization in Environmental Engineering. Director: Sergio Augusto Guerra Castellanos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica del compostaje como alternativa de manejo de los subproductos de la agroindustria de la palma de aceite.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y comparar las diferentes técnicas de compostaje empleadas en la agroindustria de la palma de aceite.
- Establecer la metodología adecuada para el manejo de los subproductos.
- Conocer las diferentes variables influyentes en el proceso de compostaje de estos subproductos.
- Realizar un estudio técnico para el diseño de una planta de compostaje que aproveche los subproductos de la agroindustria de la palma de aceite.

INTRODUCCIÓN

La palma africana se considera la especie de mayor producción de aceite en el mundo, en Colombia es cultivada por su alto rendimiento de aceite por hectárea y los múltiples productos y subproductos de valor agrícola e industrial, generando toneladas de subproductos sólidos y líquidos, que pueden ser aprovechados para la producción de materia orgánica y utilizados como abono orgánico.

El compostaje al ser un proceso controlado y acelerado de descomposición de las partes orgánicas de los residuos urbanos, excrementos de animales, madera, y restos de cosecha se presenta como una alternativa de manejo de los residuos, a bajo costo y con innumerables beneficios con el medio ambiente, como mejoramiento de la estructura física, química y microbiológica del suelo, favorece la respiración radicular, aumenta la capacidad de retención de agua, acelera las reacciones de mineralización en el suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, reduce la erosión y aumenta la eficiencia de los nutrientes, en general aporta vida al suelo.

El objeto del presente estudio es evaluar la efectividad que tienen el lodo, el raquis, las cenizas, la cascarilla y la fibra, a través de su conversión en un abono orgánico que tenga el potencial de solucionar el problema ambiental y la degradación de los suelos, que actualmente presentan las plantaciones de extracción de palma.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Manejo inadecuado de los subproductos de la agroindustria de la palma de aceite.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

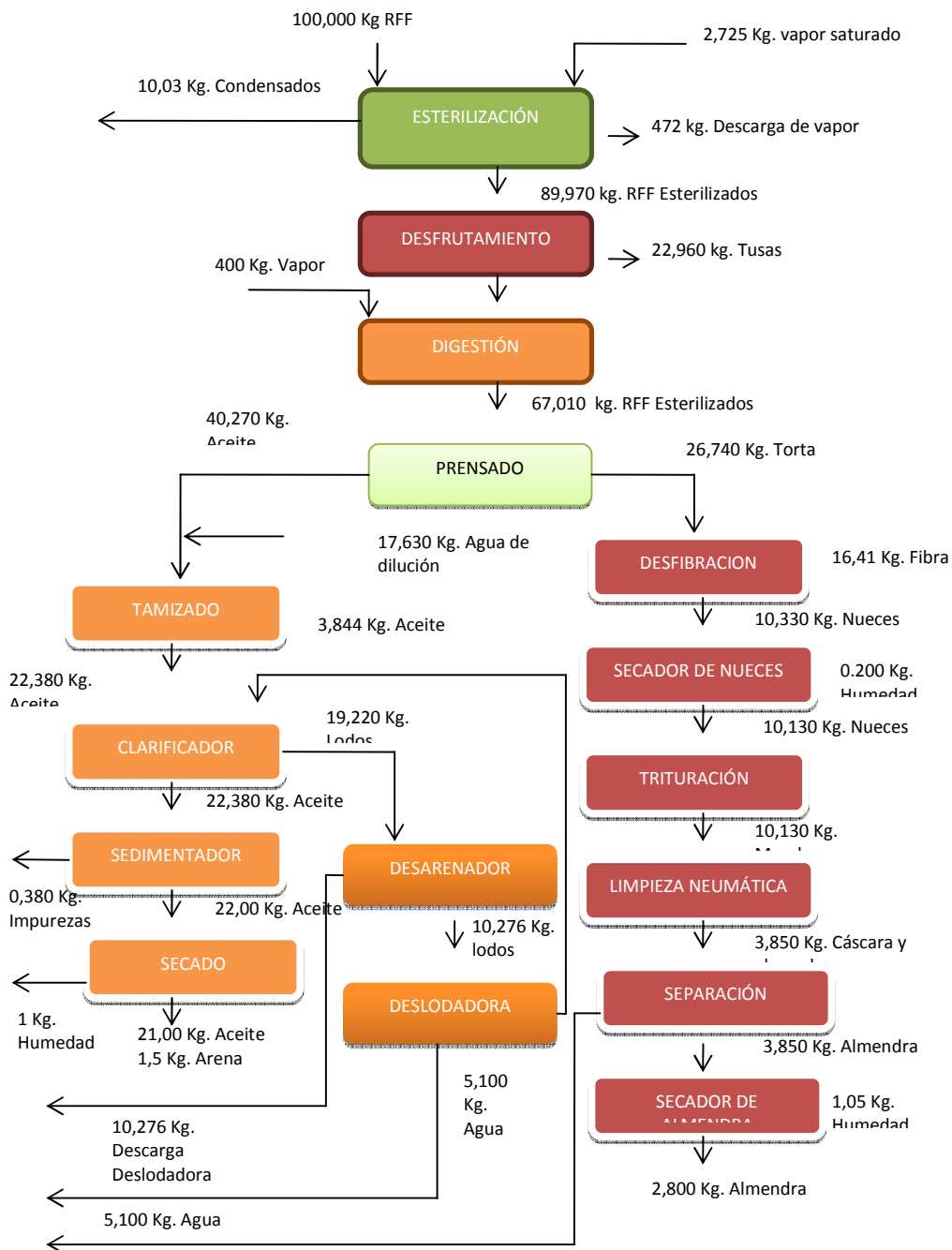
En la actualidad la agroindustria de la palma de aceite genera grandes cantidades de residuos orgánicos propios del proceso como son: raquis, fibra, cenizas y lodos como se muestra en la Fig. 1^[1].

1.2.1. Efluentes líquidos del proceso. Los efluentes que salen del proceso de extracción de aceite de palma deben ser tratados con el fin de retirar de ellos la mayor cantidad de aceite que haya podido quedar impregnado (de difícil degradación) y remover los sólidos allí presentes tales como sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas^[2].

Los principales problemas de estos efluentes son el bajo pH, la elevada temperatura, la alta carga de sólidos totales y suspendidos, la gran cantidad de carga orgánica medida como Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El sistema más eficiente en cuanto a la relación costo de operación y calidad del agua final, para aguas residuales de plantas extractoras de aceite de palma es, el de las lagunas de estabilización, en las cuales se combinan principalmente; procesos anaerobios (ausencia de aire) con procesos facultativos (combinados) y procesos aerobios (presencia de aire).

Figura No. 1. Diagrama de flujo y balance de materiales del proceso de extracción de aceite de palma.



Fuente: PAREDES O., Flavio. Plantas extractores. Palmeras de los Andes. Santo domingo Ecuador, 2011.

Para el tratamiento de las aguas residuales se aprovecha la actividad biológica que mediante bacterias hacen que las sustancias presentes se conviertan en gases que escapan a la atmósfera y se produzca una biomasa extraíble mediante sedimentación. Por medio de la actividad biológica también se logra remover nitrógeno y fósforo.

El sistema de tratamiento de los efluentes en este tipo de industria, está conformado por las siguientes unidades de proceso: tratamiento preliminar en pozos florentinos, laguna de ecualización, fase primaria (dos lagunas anaeróbicas trabajando en paralelo) y una fase secundaria (dos lagunas facultativas operando en serie).

1.2.1.1. Tratamiento preliminar (tanques florentinos). Los tanques florentinos (Ver Fig. 2) sirven para remover materiales sedimentables tales como arenas y trozos de frutos, evitando así el desgaste de tuberías y bombas. De igual manera se utilizan para recuperar aceite que puede retornarse al proceso.

Permiten que el aceite (menos denso que el agua) ascienda a la superficie de los tanques, lo que facilita su recuperación por medio de un sistema de rebose en canaletas o tubos recolectores que lo llevan a un tanque de bombeo para ser retornado al proceso. En estos tanques también se presenta la sedimentación de sólidos pesados, por lo cual es necesaria la evacuación y limpieza de estos lodos periódicamente.

1.2.1.2. Laguna de ecualización. Por medio de esta laguna se estabilizan las condiciones de entrada de los efluentes tales como pH, temperatura, carga orgánica y sedimentos. La temperatura es una variable importante, porque para pasar a las siguientes etapas del tratamiento, se requiere que la temperatura esté

alrededor de los 37°C, con el fin de asegurar el trabajo óptimo de los microorganismos involucrados en el proceso.

Figura No. 2. Tanques florentinos.



Fuente: Autoras de la monografía

La recuperación del aceite se realiza por decantación hacia la superficie. Este aceite obtenido es muy ácido. Para que el sistema de lagunas funcione adecuadamente, la carga orgánica inicial debe ser regulada mediante dilución con agua superficial. En periodo seco la evaporación, en la superficie de las lagunas, es muy fuerte y si esta situación no se controla, puede ocasionar problemas de concentración de las aguas lodosas y por lo tanto de la carga orgánica. Para compensar la pérdida de agua por evaporación, es necesario realizar una recirculación del efluente final, lo cual contribuye además con alcalinidad que neutraliza parte de la acidez de las aguas.

- Fase Primaria: La fase primaria está constituida por dos lagunas anaeróbicas que trabajan en paralelo. El proceso anaerobio es realizado por microorganismos cuyo metabolismo se realiza en ausencia de oxígeno. Los productos finales de la degradación anaerobia son: metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

El proceso de la fase primaria se efectúa principalmente en tres etapas:

Primera etapa: En esta etapa la materia orgánica compleja (carbohidratos, proteínas y grasas) es transformada por organismos facultativos, en materiales orgánicos más simples, que son solubilizados en el agua mediante acción de enzimas producidas por las células bacterianas.

Segunda etapa: El material ya solubilizado y simplificado es utilizado por las bacterias “acidogénicas” que se encargan de fermentarlo y convertirlos en ácidos orgánicos como acético, propiónico, oleico, alcoholes simples, dióxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno, sustancias que pueden producir malos olores.

Tercera etapa: En esta etapa las bacterias “metanogénicas” utilizan los ácidos y alcoholes producidos en la segunda etapa por las bacterias acidogénicas y los transforman en metano y dióxido de carbono. Si no se adecúan las condiciones de pH, de tal forma que se mantenga entre 6,5 y 7,5, la actividad de las bacterias no se da correctamente y se produce ácido sulfhídrico, malos olores y deficiencia en el funcionamiento del sistema.

En las lagunas anaerobias es donde se realiza la mayor remoción de materia orgánica, por lo tanto se hace necesario periódicamente la evacuación de los lodos sedimentados y así prevenir que se colmaten por sedimentación, originando interrupciones en el sistema de tratamiento. Para prevenir la saturación de las lagunas, generalmente se instalan en el fondo de ellas sistemas llamados espina de pescado (Ver Fig. 3), los cuales permiten la evacuación de los lodos sedimentados hacia lechos de secado.

Figura No. 3. Sistema espina de pescado.



Fuente: Autoras de la monografía.

Los principales beneficios de las lagunas anaeróbicas son:

- La mayoría de los sólidos en suspensión se sedimentan.
- Las materias flotantes (grasas, natas, espumas y sólidos ligeros) salen a la superficie.
- Parte de la materia orgánica es digerida por acción de las bacterias anaerobias y ocurren fenómenos de descomposición.
- Se remueve la gran mayoría de DQO, DBO₅ y los sólidos totales (ST). Remoción del 90%.
- Fase Secundaria: La fase secundaria del sistema de tratamiento de efluentes, está comprendida por dos lagunas facultativas que operan en serie con el sistema anaerobio (fase primaria). En este proceso, se remueve la carga orgánica que se pasó desde la fase primaria, y los microorganismos allí presentes son indiferentes a la presencia de oxígeno disuelto. En esta etapa del tratamiento, se combina la actividad anaeróbica

con la aeróbica. La carga orgánica por unidad de área, es menor que en el caso de la fase primaria y se establece simbiosis entre dos tipos de microorganismos: algas y bacterias.

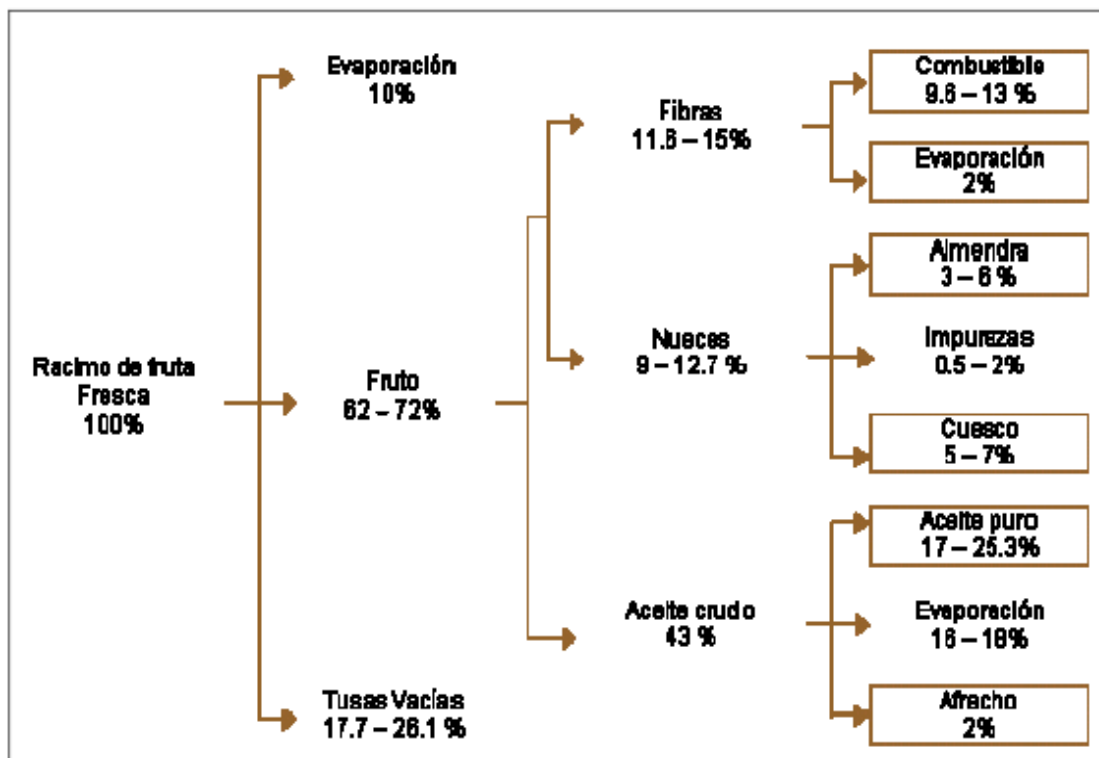
Zona Aeróbica: La zona aeróbica está comprendida por los primeros 25 cm medidos a partir de la superficie. En esta zona existe gran penetración de la luz, que producirá oxígeno disuelto en el agua debido a la acción de algas fotosintéticas flotando en el agua.

Zona Anaeróbica: Corresponde al fondo de la laguna y está constituida principalmente por lodos sedimentados por descomposición anaeróbica. En esta zona ocurre una estabilización biológica. Los gases producidos por la descomposición ascienden a través de la laguna y salen hacia la atmósfera, arrastrando material flotante y formando capas de agua sobre la superficie.

Como se puede observar, en la actualidad el sistema de tratamiento de efluentes líquidos en las plantas de extracción de aceite de palma en Colombia, permiten obtener una descomposición anaeróbica del material y una incontrolada producción de metano.

1.2.2. Residuos sólidos orgánicos del proceso. Los residuos sólidos orgánicos del proceso de extracción de aceite de palma son principalmente tusa, fibra y cascarilla. Los subproductos sólidos generados por el proceso de extracción son de gran importancia por su composición, para ser utilizados en su totalidad como bio-abonos y como combustibles principalmente. La porción equivalente en porcentajes, sus características y valores se presentan en la figura 4.

Figura No. 4 Porcentaje de los residuos sólidos orgánicos del proceso de la extracción del aceite de palma.



Fuente: VARGAS, C., et al., (2009). Diseño, montaje y puesta en marcha del mecanismo de desarrollo limpio “plan de compostaje industrial para el manejo de residuos sólidos y líquidos de Oro Rojo Ltda.”. Unidad de Operación Industrial de Proyectos-Gestión Integral de Procesos, página 8.

La tusa, es un material orgánico que se dispone en la plantación con el fin de que se descomponga y aporte nutrientes al suelo como abono orgánico. Sin embargo, esta práctica está asociada con la emisión de gas metano. A continuación se muestra la distribución de tusas en una plantación, mediante la figura 5.

Figura No. 5 Distribución de tusas en la plantación de palma.



Fuente: VARGAS, C., et al., (2009). Diseño, montaje y puesta en marcha del mecanismo de desarrollo limpio “plan de compostaje industrial para el manejo de residuos sólidos y líquidos de Oro Rojo Ltda.”. Unidad de Operación Industrial de Proyectos-Gestión Integral de Procesos, página 9.

La fibra, a diferencia de la tusa, es utilizada como combustible para las calderas en la planta extractora, representa un 12% del peso del racimo de fruta fresca, tiene un poder calorífico superior de 4.500 Kcal/Kg. Su contenido de volátiles en base seca es de 80,7%, el porcentaje de cenizas es del 4% y las humedades oscilan de 15% a 30%; los porcentajes de aceite residual están en un rango de 8% a 18%. Su utilización es parcial ya que el exceso es dispuesto en las plantaciones para que sea aprovechado como abono orgánico.

El porcentaje de cascarilla en el racimo de fruta fresca es de 7% aproximadamente; ésta es usada para iniciar la combustión de la caldera gracias a su gran poder calorífico y para relleno de las bolsas de vivero para dar permeabilidad a la tierra que contendrá las futuras palmas.

El período de degradación natural de los residuos sólidos, está entre 4 y 5 meses y no se tiene conocimiento acerca del aporte en fertilización y mejoramiento del suelo.

2. JUSTIFICACIÓN

El compostaje surge como una alternativa de solución para las grandes cantidades de material resultante del proceso de extracción de aceite de palma^[3]. Sin embargo, esta alternativa requiere de investigación para poder ajustar los procedimientos de forma tal que den como resultado una descomposición altamente eficaz; siendo rápida, económica y utilizable dentro de las prácticas agronómicas del cultivo como fuente de nutrientes.

La implementación de un sistema técnico y apropiado de compostaje, es una alternativa de reducción del impacto ambiental sobre el ecosistema de las plantaciones donde se ejecuta esta práctica.

3. MARCO REFERENCIAL.

3.1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

A nivel mundial, se pueden encontrar diversos ejemplos del problema que representan los diferentes subproductos para la agroindustria de la palma, uno de ellos es el de la planta de Palo Seco, Quepos, Costa Rica ^[4].

Los racimos vacíos (raquis) y las aguas lodosas (efluentes) son los principales subproductos del proceso de extracción del aceite. La planta procesadora Palo Seco, procesa aproximadamente 100.000 toneladas de fruta fresca al año, y los residuos del proceso contienen importantes cantidades de elementos: 90 Ton de nitrógeno, 43 Ton de fósforo y 146 Ton de potasio ^[5]. El total de materia orgánica que puede ser utilizado para hacer abono orgánico es de aproximadamente 15.000 toneladas.

La degradación natural del raquis es lenta debido a los altos contenidos de fibra y lignina, como se puede observar en la Tabla 1. La digestibilidad de este material es de sólo 35%, comparado con un 60-70% de la mayoría de los pastos. La alta capacidad calórica (energía bruta 4.570 Kcal/Kg) del sustrato, provoca temperaturas entre 70 y 75°C, lo cual limita el desarrollo de varios microorganismos descomponedores, importantes durante el proceso de compostaje. La inoculación con microorganismos provenientes de los lodos de las lagunas donde se depositan los efluentes, da una solución económica al problema.

Por otra parte la industria palmera en Colombia, realiza un gran esfuerzo por modernizarse, para competir con el mercado internacional, lo que ha generado la intensificación del cultivo para obtener una mayor productividad, originando de

igual manera, el incremento de subproductos provenientes de la extracción del aceite, que ofrecen la posibilidad de ser utilizados.

Tabla 1. Características químicas y físicas de la fibra de pinzote, planta procesadora Palo Seco, Quepos – Costa Rica.

Composición química	N (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (ppm)	K (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)
	0,73	0,18	0,29	0,18	0,49	1440	27	21	42
Fibra neutro detergente	70%								
Fibra ácido detergente	54,2%								
Lignina	20%								
Sílice	4,1%								
Hemicelulosa	16,2%								
Celulosa	28,5%								
Digestibilidad in vitro	35,0%								
Extracto etéreo	8,0%								
Energía bruta (Kcal/Kg)	4,570								
Densidad kg/m³	250								

Fuente: GARCIA, J.A., et al., (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de plantas de aceite en Colombia. Revista Palmas, volumen 31, No 2.

En el proceso industrial del racimo de la palma para la obtención del aceite crudo se originan materiales de tipo fibroso. En el inicio del proceso de extracción se obtiene la fibra, del mesocarpio de los frutos, que junto con el cuesco sirven para generar vapor de agua al adicionarlos a las calderas; otros residuos, como los sólidos retenidos en tamiz primario, o materiales remanentes del tamizado sólido, retenido en una primera criba o sólidos de tamiz secundarios o residuos

recuperados en una segunda criba, son llevados a los cultivos para ser empleados como fertilizantes. Dichos materiales no sólo se producen diariamente en altas cantidades, sino que presentan prolongados tiempos de descomposición, lo cual genera problemas de contaminación ^[6].

La descripción anterior se puede observar en el estudio desarrollado por el Departamento Técnico del Grupo Empresarial Las Flores, en asociación con Oleoflores Ltda. y Hacienda Las Flores, Medellín ^[7], en el cual se muestra a través de la Tabla 2, el manejo tradicional de los residuos orgánicos en la planta extractora.

Tabla 2. Manejo tradicional de los desechos orgánicos.

Desechos	Sitio	%	Dosis (año)
Raquis	Plantación	100	50-100 ton/año
Lodos	Plantación y lotes aledaños a las lagunas de oxidación	100	-
Cuesco	Calderas y arreglo de vías		-
Fibra	Calderas	60-70%	-
	Plantación	40-30%	-
Cenizas	Botaderos		

Fuente: PELÁEZ D., C. y RESTREPO G., A., (2004). Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite, página 4.

3.2. PROCESO DE COMPOSTAJE

3.2.1 Definición. El compostaje es un proceso de degradación biooxidativo controlado y realizado por microorganismos benéficos, que en presencia de humedad, a temperatura adecuada y bajo condiciones aeróbicas, utilizan los nutrientes que están contenidos en el material a transformar hasta obtener un

producto homogéneo, compost, libre de patógenos y estabilizado físicamente ^[8], el cual puede ser aplicado en el suelo en forma de fertilizante orgánico, contribuyendo a mejorar las condiciones del mismo. El compost contribuye al mantenimiento y recuperación del creciente deterioro ecológico y del medio ambiente sin generar gases causantes del efecto invernadero.

3.2.2 Fases del compostaje. Durante el proceso del compost los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO₂, agua, humus, el producto orgánico final más estable y calor. Bajo condiciones óptimas existen tres fases como se muestra en la Fig. 6. La fase mesofílica o de temperatura moderada dura un par de días, la termofílica o de alta temperatura puede durar desde unos pocos días hasta meses y la de maduración o enfriamiento dura varios meses ^[9].

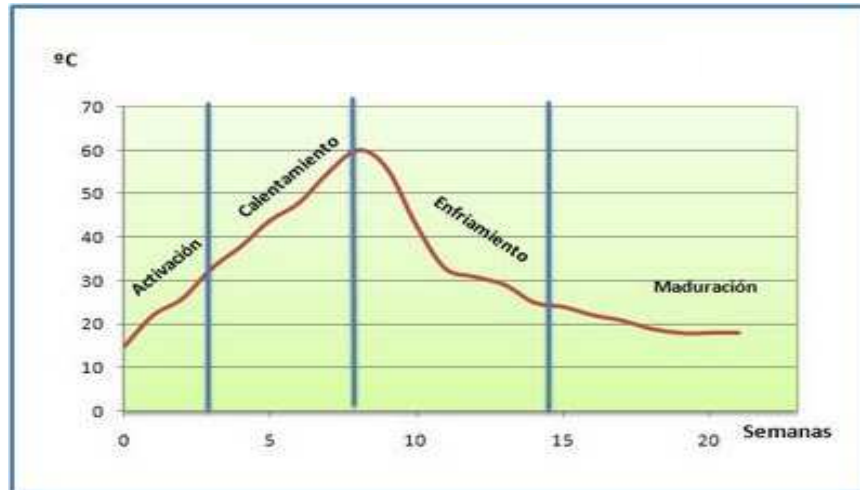
Diferentes comunidades de microorganismos predominan durante las distintas fases. La descomposición inicial es llevada adelante por microorganismos mesofílicos, que rompen rápidamente los compuestos solubles fácilmente degradables. El calor que producen, causa un aumento rápido de la temperatura del compost. Cuando se alcanza una temperatura por encima de 40°C, los microorganismos mesofílicos se vuelven menos competitivos y son reemplazados por los termofílicos.

En la fase termofílica, las altas temperaturas favorecen el desarrollo de organismos capaces de degradar moléculas más complejas como las proteínas, los ácidos grasos y polisacáridos como la celulosa y la hemicelulosa, las principales moléculas estructurales de las plantas.

En la medida que estos compuestos altamente energéticos son agotados, la temperatura baja gradualmente y los microorganismos mesofílicos vuelven a

colonizar y se encargan de la fase final de maduración de la materia orgánica remanente.

Figura No. 6 Fases del proceso de compostaje.



Fuente: GRUPO DE GESTIÓN DE RESIDUOS. Proyecto de gestión de residuos orgánicos. <http://proyectogestionderesiduos.wordpress.com/author/ataibo/>. Citada el 10 de Marzo 2012.

3.3. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE.

Las técnicas de compostaje se pueden dividir en tres grupos principales: En superficie, en montón y en silos-compostadores^[10].

3.3.1 Compost en superficie. Consiste en esparcir sobre el terreno (nunca enterrar, ni envolver), una delgada capa de material orgánico (de menos de 10 cm.), dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Según se va dando el proceso natural de incorporación al suelo se esparcen nuevos restos en un proceso continuo. Cuanto más desmenuzado esté más rápida será la absorción pero también más rápidamente se perderán algunos nutrientes.

En épocas no muy calurosas se puede depositar sin ningún tipo de protección. En situaciones de menor humedad ambiental y precipitaciones o altas temperaturas es mejor cubrirlos con una delgada capa de paja picada, hierba, coníferas, etc.

Este compostaje se emplea fundamentalmente en los huertos y sirve de acolchado de la tierra que a su vez impide la evaporación de humedad y el nacimiento de hierbas no deseadas e incluso protege de heladas en épocas frías.

Los organismos vivos del suelo son los que irán dando buena cuenta de los restos esparcidos y se encargarán de incorporarlos en los diferentes niveles del suelo.

El compostaje en superficie tiene sus limitaciones de uso en huertos, pues algunos cultivos como las judías y las zanahorias no admiten bien este tipo de fermentación. Aun así esta dificultad se puede superar con una adecuada distribución de las plantas y de este tipo de compostaje en el huerto.

3.3.2. Compost en montón. Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos vegetales y orgánicos (sobre 1m³ o superiores), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje que a su vez tiene una gran cantidad de variantes, de las cuales algunas se nombran a continuación:

- Compostaje de podas vegetales: Después de acumular restos vegetales de todo tipo, se trituran estos y se mantienen sumergidos en agua en alguna alberca o bidón, durante 24 o 48 horas (según grosor). Después se agrupan en montón de 2x2x1,5 m. y se mantiene durante 21 días.

Posteriormente se deshace este montón y se vuelve a rehacer en forma piramidal de 2,2m de base por 1,6m de altura y la longitud que determine la cantidad de residuos, y se cubre con 2 ó 3 cm. de tierra o arena y a su vez protegido por ramas, durante al menos 90 días.

- Compostaje residuos vegetales y estiércol: Se trituran los residuos y se remojan durante 3 días. Se recolectan hierbas aromáticas en toda la variedad posible y se remojan a su vez durante 24 horas. Después se hace un montón de capas alternas de 15 cm. de residuos vegetales, otra de estiércol de oveja o caballo y una tercera de las hierbas aromáticas

Se suceden esta serie de capas hasta alcanzar una altura de unos 2m y se deja durante 21 días. Después se deshace y se vuelve a rehacer en forma piramidal de 2,2m de base por 1,6 m de altura y se deja 90 días.

- Compostaje de coníferas: Se trituran las ramas y junto a las hojas se ponen a remojo durante siete días. Se sacan y se amontonan durante 21 días. Se deshace el montón y se vuelve a rehacer con forma trapezoidal de 2,2 m de base por 1,6 m de alto y 1,1 m de anchura menor, se cubre con una capa fina de tierra y otra superior de ramas y se mantiene durante 90 días. Resulta muy aconsejable regar periódicamente con purín de ortigas para activar la lenta descomposición.
- Compostaje de hojas: Se hace un montón con series de capas que comienzan con 25 cm. de hojas, otra de dos dedos de ramas trituradas, se le monta otra de residuos de cocina o cortes de césped y después otra de hojas. Siempre la última capa será de hojas. Se cubre el montón con tierra para evitar que se vuelen las hojas y al cabo de un mes se mezcla, para beneficiar la aireación.

3.3.3. Compost en cajoneras o silos. Muy indicado para cantidades domésticas de residuos orgánicos de alimentos, jardín y pequeños huertos. Se pueden emplear compostadores comercializados de todos los tamaños y materiales o construirlos respetando unas sencillas indicaciones. Hay una variante de este

compostaje (lombricultura o vermicompostaje), que se desarrolla con la ayuda de una especie de lombriz denominada roja de California (*Eisenia foetida*).

La cajonera o silo es muy sencilla de preparar. Un cajón hecho de cualquier tipo de material con un volumen suficiente como para contener todos los residuos orgánicos que se vayan produciendo durante al menos cuatro meses. No tiene fondo ya que es fundamental el contacto directo entre la tierra y los restos; deberá tener orificios de ventilación por todas sus caras. La parte superior se cubre para controlar mejor la humedad aunque también conviene que tenga pequeños orificios de ventilación y entrada de algo de humedad ambiental; por esta parte se verterán los residuos.

Una de sus caras laterales estará preparada para abrirse y poder acceder mejor al montón. En la parte inferior de este lateral se coloca una trampa por donde se puede sacar el compost ya preparado. El compostaje en estas cajoneras o silos puede funcionar de forma continua respetando las condiciones de humedad y aireación.

El funcionamiento es muy simple. El olor desagradable (no confundirlo con el olor habitual de cada tipo de los restos orgánicos), que indicará compactación, exceso o falta de humedad y falta de aireación que se resolverá volteando los residuos. Si se observa que comienza a aparecer una coloración excesivamente blanquecina (presencia de gran cantidad de hongos filamentosos), significa baja humedad, que se resolverá remojando los residuos. Si se tiene cuidado de ir mezclando los residuos más acuosos con los menos acuosos y los más nitrogenados con los menos, nunca se tendrán problemas.

Es conveniente que antes de asentar el compostador se tenga en cuenta la vegetación de la base que vaya a ocupar. También al inicio de la actividad es conveniente que se coloque en el suelo que previamente se ha desnudado de

vegetación, unas ramas de arbustos delgadas para facilitar la aireación inicial y algo de compost maduro para acelerar la activación de la descomposición.

Hay otro tipo de compostaje en cajonera o silo basada en sucesivos volteos de los residuos. En alguno de ellos se utilizan dos o tres espacios en los que se van volteando y rehaciendo los montones de forma progresiva. En este sistema se necesitan residuos de mayor contenido en nitrógeno pues se va perdiendo en los sucesivos volteos.

3.4. APLICACIONES DE COMPOSTAJE, COMO TRATAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA

3.4.1 A nivel internacional. Se encuentra la planta de Palo Seco de Quepos, Costa Rica ^[4], en donde se utilizó como materia prima el raquis y los lodos (subproductos de la extracción del aceite de palma), los cuales fueron enriquecidos con nitrógeno (urea) y fosfato diamónico (DAP).

Varias pruebas preliminares llevadas a cabo, permitieron obtener un producto cuyas características se detallan en la Tabla 3. La alta calidad de este compost motivó la iniciación de un proyecto en mayor escala.

Tabla 3. Características químicas (% sobre la base de materia seca) y físicas del compost obtenido a partir de desechos agroindustriales de la palma aceitera. Planta Palo Seco, Quepos, Costa Rica.

Características Químicas		Características Físicas	
N	2,88-4,50%	Fibra remanente	5,8-8,9%
P	1,50-2,52%	Humedad final	45-55%
K	4,40-5,01%	Reducción en volumen Fibra/Compost	65%
Ca	4,33-4,59%	Reducción en	44%

		peso Fibra/Compost	
Mg	0,73%-0,84%	Densidad de compost	417 Kg/m ³
S	0,23%		
Zn	455ppm		
B	32ppm		
Fe	4,126		

Fuente: TORRES, R. y CHINCHILLA, C., (1999). Compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. XI Congreso Nacional Agronómico.

Otra aplicación del compostaje como tratamiento de los subproductos de la extracción de palma, es el estudio realizado por INDESA S.A ^[11], el cual presenta en la Tabla 4 las diferentes variables del sistema de compost.

El diagrama de flujo del manejo de los diferentes desechos de la planta extractora se presenta en la Fig. 7. En el cual se puede observar que los racimos vacíos son los únicos tratados mediante el proceso de compostaje, mientras que el efluente líquido se degrada mediante un proceso de fermentación.

Tabla 4. Variables del tratamiento del compost a partir de desechos orgánicos de la planta extractora.

Labor	Índices actuales de INDESA
Ciclo de compost	70 días +14 de maduración
Nutriente (N-P-K)	1,57-0,31-0,91-0,67Ca-0,41Mg
Relación C/N inicial	150
Relación C/N final	37
Compost/Racimos vacíos	53,5%
Área de Compostera	2,84 Hectáreas
Densidad de cama nueva	0,4 TM/m ³
Cortador de EFB	No

POME/EFB	0,49 m ³ /TM
Volteadora	Backus 16,43
Ceniza	Si se aplica
Costo	US\$13,82 TM
Costo Aplicado al campo	US\$21,30 TM

Fuente: INDESA S.A, Inversiones y desarrollo, (2008), Compostaje de sub-productos de la extracción de aceite crudo de palma, página 3.

El balance general de los compuestos utilizados para obtener el compostaje se presenta en la Fig. 8.

El abono orgánico obtenido en el presente estudio, posee las siguientes características:

- Nitrógeno, 1,57%
- Fósforo, 0,31%
- Potasio, 0,91%
- Magnesio, 0,41%
- Boro, 182ppm
- Contenido de materia orgánica, 80%
- pH, 7,5

En la Fig. 9, se puede observar el crecimiento de la materia orgánica al aplicar compost.

Figura No. 7 Diagrama de flujo del manejo de desechos de la planta extractora.



Fuente: INDESA S.A, Inversiones y desarrollo, (2008), Compostaje de sub-productos de la extracción de aceite crudo de palma, página 4.

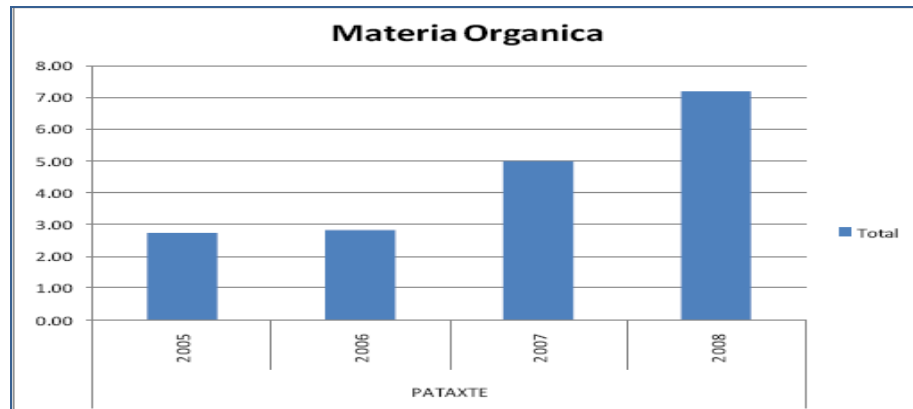
La aplicación del abono orgánico, trae consigo disminución de gas metano, 800 TM al año, contribuyendo así a una producción ambientalmente responsable, disminución de emisiones de CO₂, por 21.400 TM, mejoramiento de la estructura del suelo, aumento de los microorganismos benéficos en el suelo, menores pérdidas de nutrientes por concepto de lixiviación, aumento de la concentración de nutrientes en el compost, obteniendo así una mayor cantidad de fertilizante sustituido y utilización de sub-productos del proceso de extracción de aceite crudo de palma (cero desperdicios).

Figura No. 8. Balance de los compuestos utilizados en el compostaje.



Fuente: INDESA S.A, Inversiones y desarrollo, (2008), Compostaje de sub-productos de la extracción de aceite crudo de palma, página 5.

Figura No. 9 Comportamiento de materia orgánica en la finca aplicada con compost.

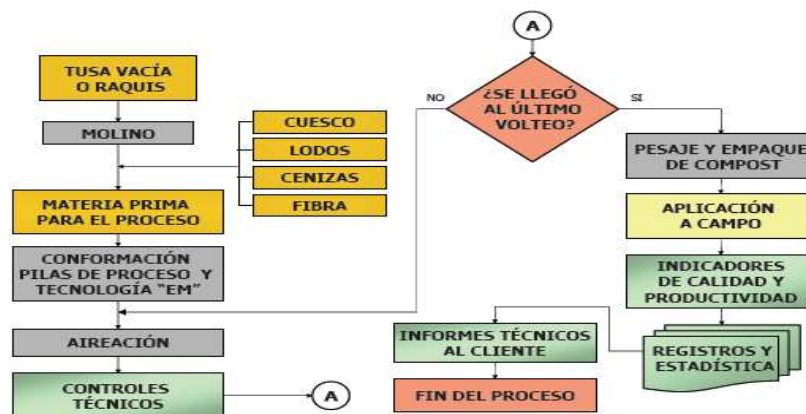


Fuente: INDESA S.A, Inversiones y desarrollo, (2008), Compostaje de sub-productos de la extracción de aceite crudo de palma, página 8.

3.4.2 A nivel nacional. Se encuentra el estudio reportado por PELAEZ Y RESTREPO [7], en donde se utilizó como materia prima el raquis, los lodos, las cenizas, la fibra y el cuesco.

En la planta extractora se ejecuta el diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 10, en donde se nombran los procesos utilizados para obtener el compostaje.

Figura No. 10 Diagrama de flujo del proceso de obtención del compostaje.



Fuente: PELÁEZ D., C. y RESTREPO G., A., (2004) Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite, página 10.

El estudio también muestra una comparación entre el método tradicional y el compostaje y su implicación en variables como transporte, tiempo de degradación, calidad del producto, etc., tal y como se muestra en la Tabla 5.

Debido a los excelentes resultados de las pruebas realizadas y analizando la magnitud de los beneficios ofrecidos por el producto terminado, el Departamento Técnico del Grupo Empresarial las Flores, decidió desarrollar una prueba técnica en el previvero, con el fin de confirmar las bondades agronómicas y nutricionales del compost producido a partir de los desechos generados por la planta extractora.

Tabla 5. Cuadro comparativo entre el método tradicional y el compostaje.

Variable análisis	Tradicional	Compostaje
Tiempo de degradación	Raquis > 240 días	Compost < 40 días
Tipo de proceso	No controlado	Controlado
Calidad del producto	Menor	Mayor
Aprovechamiento residuos	Parcial	Total
Facilidad de transporte y aplicación a campo	Menor	Mayor
Generación de residuos orgánicos Ha/año	4,8 Ton raquis	7,0 Ton compost
Aplicación actual/Ha	50-100 Ton raquis	Equivalente a 70-140 Ton Compost
El proceso de compostaje permite aplicar un 40% más de material biodegradado por hectárea.		

Fuente: PELÁEZ D., C. y RESTREPO G., A., (2004). Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite, página 11.

Obteniendo como resultado que el mejor tratamiento aplicado a las plantas de palma en el previvero fue el tratamiento 3, en el cual el compost está formado por 55% de raquis, 37% de lodos, 7,2% de cenizas y 0,8 de tierras filtrantes.

En el estudio se realizaron diferentes tratamientos, los cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción específica de los tratamientos.

Pila	Tratamiento	Raquis	Lodos	Cenizas	Tierras filtrantes
A1	4 EM Act/Ton	35%	57%	7,2%	0,8%
B1	4 EM Act/Ton	45%	47%	7,2%	0,8%
C1	4 EM Act/Ton	55%	37%	7,2%	0,8%
A2	5 EM Act/Ton	35%	57%	7,2%	0,8%
B2	5 EM Act/Ton	45%	47%	7,2%	0,8%
C2	5 EM Act/Ton	55%	37%	7,2%	0,8%
A3	6 EM Act/Ton	35%	57%	7,2%	0,8%
B3	6 EM Act/Ton	45%	47%	7,2%	0,8%
C3	6 EM Act/Ton	55%	37%	7,2%	0,8%

Fuente: PELÁEZ D., C. y RESTREPO G., A., (2004). Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite, página 23.

3.5. VARIABLES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Todos los materiales orgánicos, más tarde o más temprano, se descompondrán, pero la velocidad de este proceso depende de los siguientes factores ^[12]

3.5.1. Relación carbono/nitrógeno. El Carbono y el Nitrógeno son dos elementos fundamentales en el compostaje. El primero es utilizado por los microorganismos como fuente energética a través de su oxidación y el segundo para la síntesis proteica. El proceso de descomposición disminuye su velocidad cuando no hay suficiente disponibilidad de nitrógeno, pero un exceso de éste también puede ocasionar la formación de amoníaco con su correspondiente mal olor. Una relación C/N alta, significa que el compost ya está listo.

3.5.2. Área superficial de exposición. El tamaño de los residuos orgánicos tiene influencia en el proceso de compostaje. Se persigue aumentar el área superficial de exposición del material a compostar a través del desmenuzado del mismo.

3.5.3. Aireación o disponibilidad de oxígeno. Este es un factor fundamental ya que una descomposición eficiente solo se da cuando hay suficiente disponibilidad de oxígeno. Se recomiendan dos volteos diarios a las pilas.

3.5.4. Humedad. Es necesario que las pilas de compostaje presenten un adecuado nivel de humedad ya que los microorganismos solo pueden utilizar las moléculas orgánicas cuando éstas están disueltas en agua. Así el contenido de humedad debe situarse entre el 40-60 %, para pilas estáticas y volteadas, y $\leq 65\%$ en reactores cerrados.

Tampoco es conveniente un exceso de humedad ($>85\%$) ya que dificultaría la necesaria aireación y puede ocasionar un arrastre, pérdida de los nutrientes, causa la muerte de los microorganismos anaerobios, haciendo el proceso más lento. La Humedad ideal está entre 65-80%^[13].

3.5.5 Temperatura de la pila de compostaje. Los microorganismos generan calor según van descomponiendo el material orgánico de tal forma que dentro de la pila de compostaje se pueden alcanzar temperaturas de 60 a 70 °C. Este efecto es deseable porque con altas temperaturas se consigue destruir agentes patógenos y semillas de malas hierbas favoreciéndose por tanto la higienización del compost. Durante los primeros días, la temperatura está entre 50-55°C.

3.5.6. Temperatura exterior. La descomposición de la materia orgánica se ve reducida durante los meses de invierno en los climas fríos.

3.5.7 pH. Permite identificar la fase del proceso de compostaje. El material normalmente compostado está entre 6 y 9.

3.5.8 Tamaño de partícula. La mayoría de los residuos llegan con tamaños irregulares y bastantes grandes lo que no facilita el proceso de degradación, es por este motivo que se realiza una trituración del material llegando a un tamaño aceptable, lo que ayuda a incrementar la velocidad de las reacciones bioquímicas. El tamaño de las partículas influye en la densidad bruta, la fricción interna, la aireación y la fuerza de arrastre de los materiales.

3.6 ANÁLISIS REQUERIDOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL COMPOSTAJE.

Todos los análisis deben realizarse mensualmente al compost, al raquis y a los lodos, excepto el DBO y el DQO, que sólo se realiza a los lodos, como medida de control de calidad del compostaje, a continuación se menciona todos los análisis que se requiere para este proceso:

- Análisis de macronutrientes
- Análisis de micronutrientes
- Relación carbono/ nitrógeno
- Porcentaje de materia orgánica
- pH
- Concentración de sales
- Humedad
- DBO
- DQO

3.7. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS IDEALES DEL COMPOST.

Según la Norma Técnica Colombia 5167 del 2004 el abono orgánico^[14] (compost terminado), es un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos

de animales y/o vegetales, o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total.

Esta norma establece unos requisitos específicos de calidad para productos utilizados como fertilizantes o abonos orgánicos, los cuales se muestran en la Tabla 7.

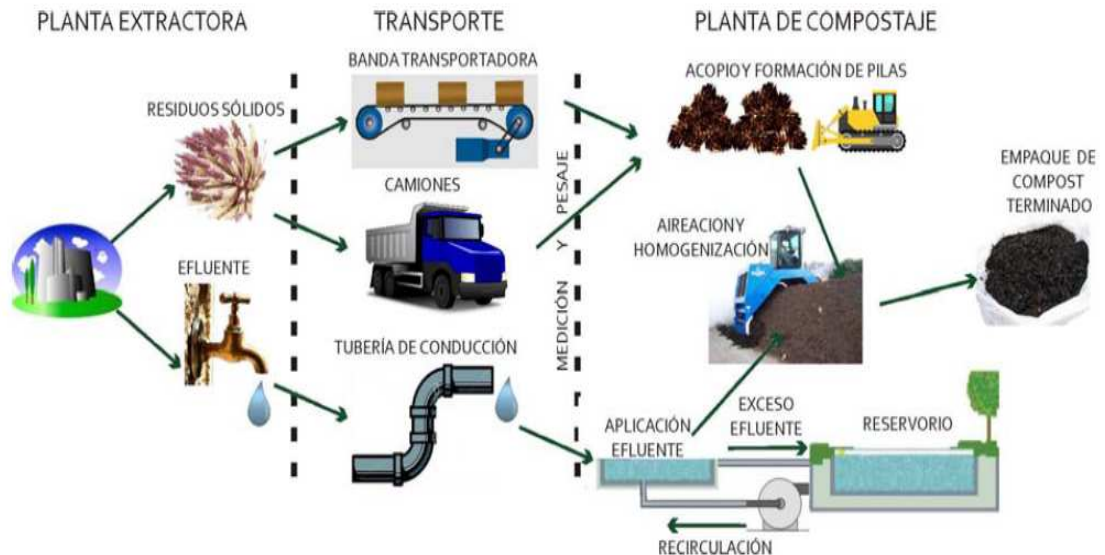
Tabla 7. Requisitos específicos para fertilizantes o abonos orgánicos.

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas															
Fertilizantes o abonos orgánicos.															
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
1	2	3	4												
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> * Pérdidas por volatilización % * Contenido de cenizas máximo 60% * Contenido de humedad: <ul style="list-style-type: none"> - Para materiales de origen animal, máximo 20% - Para materiales de origen vegetal, máximo 35% - Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante. * Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%. * N1P2O5 Y K2O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) * Relación C/N * Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g) * Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso. * pH mayor de 4 y menor de 9 * Densidad máximo 0,6 g/cm³ * Límites máximos en mg/Kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación. <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr> <tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr> <tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr> <tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr> <tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr> <tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr> </table> * Se indicará la materia prima de la cual procede el producto. 	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de carbonoorgánico oxidable total (%C) Humedad máxima (%) Contenido de Cenizas (%) Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+)/Kg-1) (meq/100g) Capacidad de Retención de Humedad (%) Contenido de Nitrogeno Total (%N) Densidad (g/cm³) pH
Arsénico (As)	41														
Cadmio (Cd)	39														
Cromo (Cr)	1 200														
Mercurio (Hg)	17														
Níquel (Ni)	420														
Plomo (Pb)	300														
		* La suma de estos parámetros debe ser 100													

Fuente: Norma NTC 5167 (2004). Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo.

4. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COMPOSTAJE

Figura No. 11 Esquema del proceso de obtención del compostaje.



Fuente: VARGAS, C., et al., (2009). Diseño, montaje y puesta en marcha del mecanismo de desarrollo limpio “plan de compostaje industrial para el manejo de residuos sólidos y líquidos de Oro Rojo Ltda.”. Unidad de Operación Industrial de Proyectos-Gestión Integral de Procesos, página 18.

4.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

4.1.1. Transporte de los residuos sólidos de la extractora a la planta de compostaje. Los residuos sólidos pueden ser trasladados en vehículos ó por medio de una banda transportadora y los líquidos por medio de tubería de conducción.

4.1.2. Sistemas para cuantificar los residuos ó materias primas de la planta de compostaje. Los sólidos orgánicos a la salida de la planta extractora deben pesarse en una bascula y la tusa va a la prensa de extracción de aceite de tusa, entregando la tusa molida y con estructura necesaria para el proceso de compostaje.

4.1.4. Armado de pilas. Los subproductos deben llegar hasta el sitio de armado de la primera pila, el material es organizado por el cargador, para que el equipo volteador lo organice en forma de pila y lo oxigene al moverlo. Al día siguiente se inicia la toma de muestra de oxígeno, temperatura y humedad.

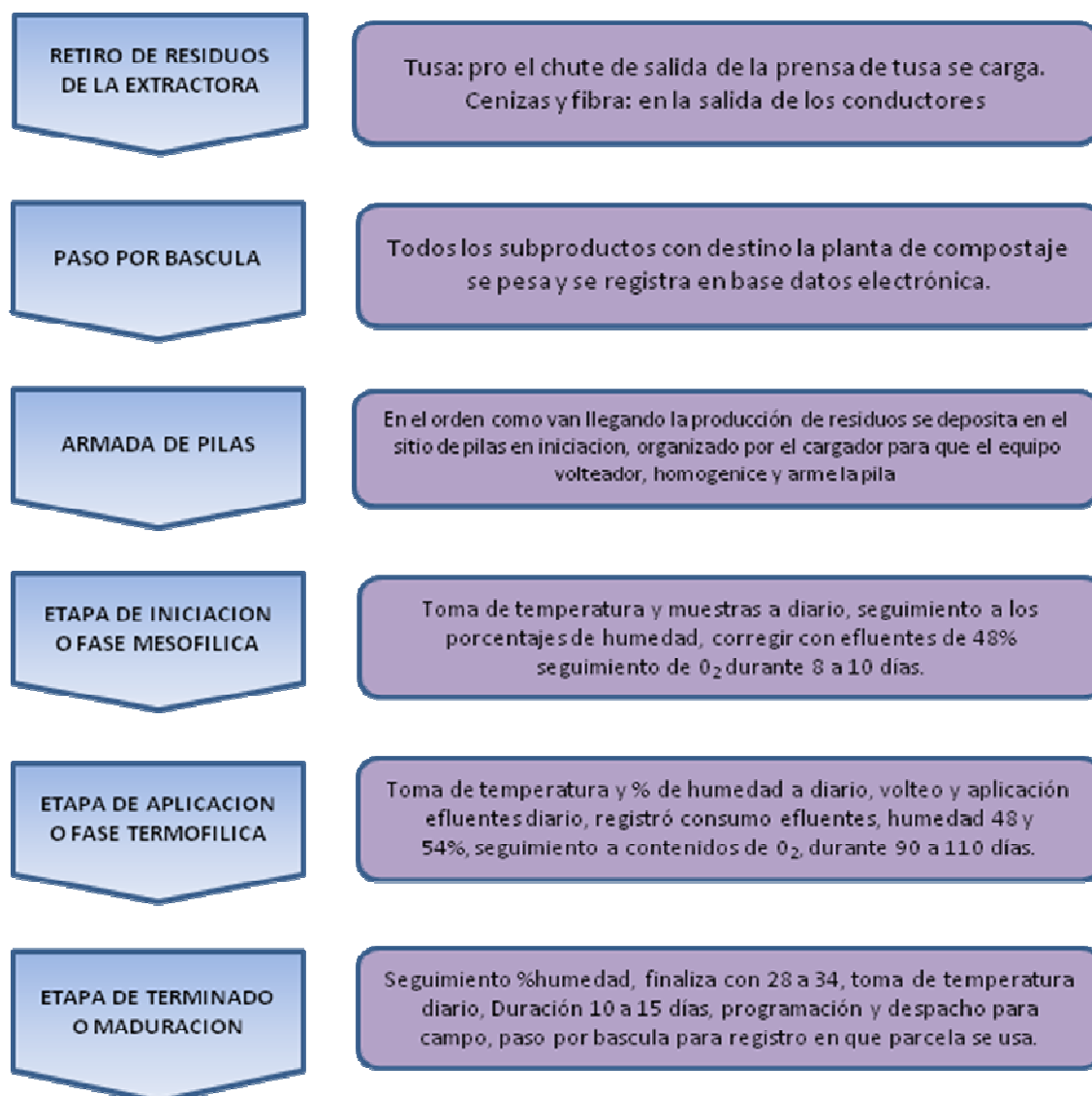
4.1.5. Etapa de iniciación o fase mesofílica. Dentro de los primeros 8 a 10 días la pila logra tener una máxima actividad microbiana, durante este tiempo la maquina volteadora le hace un movimiento día por medio, si la humedad del material se encuentra por debajo del 50%, se hidrata con efluentes hasta mantener la humedad por debajo de 54%.

4.1.6. Etapa de aplicación o fase termófila. En esta fase la humedad debe estar entre 48 a 54%, al excederse la humedad se corrige aumentando los volteos en esa pila o disminuyendo el volumen de aplicación de efluentes, el porcentaje de oxígeno no puede bajar de 10%, si llegara a suceder se disminuye el volumen de efluentes y se aumentan los volteos.

4.1.7. Etapa de terminado. Se suspende la aplicación de efluentes, se busca bajar 50% de humedad a 30-34%, el tiempo requerido es de aproximadamente 15 días, en condiciones normales se considera que el proceso de compostaje ha terminado cuando la temperatura es menor a 58°C y la humedad se encuentra entre el 28 y 34% para facilitar su manejo.

4.1.8. Reservorio para efluente. Cuando no se pueda aplicar el efluente, esta área permite tenerlo en un lugar mientras se reanuda la operación normal de la planta.

Figura No. 12 Flujograma del proceso de obtención del compostaje.



Fuente: Autoras de la monografía.

4.2 ELEMENTOS CLAVES PARA ESTABLECER UNA PRODUCCIÓN DE COMPOSTAJE EXITOSA.

A continuación se plantean algunos aspectos importantes para lograr una producción exitosa de compostaje ^[15], que deben ajustarse a las condiciones de generación de materia prima, disponibilidad, infraestructura y volumen de residuos a procesar:

1. Antes de iniciar esta práctica se debe hacer una proyección de la cantidad de materia prima necesaria para obtener niveles significativos de compostaje.
2. Una vez estimadas las cantidades de materia prima y a partir de los hallazgos obtenidos en las pruebas pilotos, se debe designar una zona para el procesamiento del compostaje, que debe reunir las siguientes condiciones básicas:

Impermeabilización del suelo: Se hace con el fin de evitar que los lixiviados del compostaje se pierdan por infiltración en el suelo. Si es posible debe existir un sistema de captación y recirculación en el mismo compostaje, que se puede lograr por medio del apisonamiento del suelo con material selecto, evitando así las infiltraciones y derrames.

Control de la humedad y lixiviación de nutrientes: Para evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación causada por la lluvia, se sugiere la construcción de galeras para la protección del compostaje. Éstas deberán ser de un tamaño tal que permita el paso de maquinaria para el volteo del compostaje. Otra alternativa es la utilización de cobertores plásticos removibles, los cuales implican un costo menor, pero mayor inversión en mano de obra para su efectividad.

Volteo y riego del compostaje: Con base en el volumen de materias primas a manejar para la generación de compostaje, se debe prever el uso de métodos manuales para el volteo y riego o maquinaria especializada si el caso lo amerita.

3. Al momento de realizar la mezcla de materias primas para la producción del compostaje, se debe medir su peso y condiciones de humedad, ya que estas variables afectan directamente el resultado nutricional del producto

final. Si es posible, se deben realizar análisis nutricionales (N, P, K y elementos menores) de las diferentes materias primas a usar.

4. Una vez iniciado el proceso de compostaje, se deben medir diariamente las variables temperatura y humedad, con el fin de conocer el comportamiento y desarrollo de los microorganismos que ayudan a descomponer las materias primas y a mejorar la disponibilidad de los nutrientes que ellas poseen.

La medición de humedad y temperatura sugerida también indicará en qué momento el compostaje está listo, basado en la inactividad que éste presenta al alcanzar su estado de mayor descomposición y disponibilidad de nutrientes (temperatura constante).

5. Como elemento final, debe realizarse un análisis del compostaje obtenido, el cual indicará la concentración de nutrientes y la relación entre ellos. Por medio de investigaciones de campo se determinará la presencia de los nutrientes que el compostaje aporta, así como los niveles de sustitución por fertilizante químico que se pueden realizar, con el fin de obtener iguales o mejores rendimientos y reducir los costos de producción.

4.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.

Una vez se tiene claridad sobre el proceso de degradación a utilizar y se han seleccionado entre las diferentes alternativas las opciones más favorables, se procede al diseño de la planta de compostaje teniendo en cuenta los siguientes componentes:

- Localización de la planta de compostaje.
- Dimensiones y cálculos de la planta de compostaje.
- Selección de maquinaria requerida.

4.3.1. Localización de la planta de compostaje. Resulta económicamente estratégico situar la planta de compostaje de residuos dentro de un radio de un kilómetro de la planta productora de residuos a tratar, puesto que el transporte de los residuos orgánicos o materias primas inciden negativamente en el precio del compostaje.

Dentro de los impactos socio-ambientales que se presentan por la operación de plantas industriales de compostaje se encuentra la producción de material particulado (en forma de partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables menores de 10 micras – PM₁₀-) y vapores orgánicos de bajo peso molecular (responsables de olores); por lo anteriormente descrito se debe tener en cuenta las comunidades cercanas y las lecturas de la rosa de los vientos del sector de influencia del proyecto, para ubicar la planta en el punto que represente la menor molestia a las comunidades o en su defecto sembrar barreras vivas de swinglia para evitar mover volúmenes de aire cargados con vapores y polvo.

En la determinación del lote donde se ubica la planta de compostaje, es muy importante que:

- La topografía sea lo más plana posible para disminuir los costos en movimiento de tierra por lo que la planta requiere áreas a la misma cota.
- Su ubicación sea muy cerca a las fuentes de producción de residuos para disminuir los costos de transporte.
- Su ubicación sea muy cerca a las fuentes de energía.

El área de la planta depende de los volúmenes de las materias primas a compostar y del plan de crecimiento estimado para la extractora, para el cálculo de los diferentes residuos se toma como base la producción de fruto/año a procesar, obteniendo el porcentaje de cada uno de residuos según el promedio obtenido en la extractora de aceite:

- Tusa el 22% de la producción de fruto.
- Fibra el 2% de la producción de fruto
- Cascarilla el 2% de la producción de fruto.
- Ceniza el 1% de la producción de fruto.
- Efluente el 80% del fruto.

Lo ideal de la planta de compostaje es que tenga la capacidad de consumir la totalidad de los residuos sólidos producidos en la extractora con un 20% de sobre diseño.

4.3.2. Dimensiones y cálculos de la planta de compostaje. El resultado del cálculo del área total requerida para el montaje de la planta de compostaje tiene varios componentes: un área de almacenamiento de residuos, área de proceso, las áreas de infraestructura (componentes de invernaderos) y obras civiles como son drenajes y vías principalmente.

4.3.2.1. Área para almacenamiento de residuos sólidos. Se debe tener como base la cantidad diaria máxima de residuos generados del proceso de extracción y que se van a ingresar al proceso de compostaje.

4.3.2.3. Área requerida para el proceso. Estas son las áreas requeridas para llevar a cabo todo el proceso de montaje, manejo y maduración de los residuos que se usarán en el compostaje, donde se busca su homogeneidad e inicio de la actividad microbiana ^[16]. Está área es básicamente todo el espacio relacionado con las pilas de compostaje, donde de esta depende en gran medida, las longitudes de cada pila, su ancho, espacio entre pilas y el área de la pila (Determinada por el área efectiva de trabajo de la volteadora que se vaya a utilizar).

El cálculo del número de pilas es el siguiente:

$$\# \text{ pilas} = \frac{1}{2} * \frac{\text{cantidad total de residuos}}{\text{volumen de la pila}}$$

- Área: Determinada por el área de sección de trabajo de la máquina volteadora a usar.
- Longitud: Se busca como criterio que sea la mayor longitud posible, con lo cual se aprovecha mas el tiempo de trabajo de la máquina disminuyendo los tiempos de cambio de la pila. Para esta definición se deben conjugar el área del terreno y la longitud de la manguera del equipo de aplicación del efluente, se considera además la distancia de giro de la volteadora para pasar a la siguiente pila y una zona adicional para el recorrido del cargador y los vehículos que cargan las pilas o retiran los materiales ya compostado.
- Ancho: Se encuentra determinada por el ancho de la máquina volteadora.
- Espacio entre pilas: Está determinado por la circulación de la máquina volteadora seleccionada. El valor corresponde al ancho de las ruedas de la máquina que está determinado por el fabricante.
- Volumen total a procesar por ciclo: Se toma el volumen diario de producción de residuos sólidos generados por la planta extractora, estos se multiplican por el número de días que durará el proceso de compostaje de una pila, comprendidos entre el periodo de armado de la pila, hasta el último día del retiro del compost.
- Cálculo del volumen de la pila:

$$V = \frac{1}{2} * (a + b) * H * L$$

Donde:

a: ancho medio de la base

b: ancho medio en la cara superior

H: altura media de la pila

L: longitud de la pila

V: volumen

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe garantizar el espacio para el procesamiento del volumen total de residuos sólidos durante los 60 días iniciales al arranque de la planta, periodo en el cual deberá haber terminado el proceso para los residuos que ingresaron el día número uno (1), con lo cual permitirá, a partir de este periodo usar el mismo espacio dentro de la planta sin necesidad de ocupar un área adicional.

Cubiertas: Dependiendo de las condiciones climatológicas donde se vaya a desarrollar la planta, se debe evaluar la posibilidad de diseñar una cubierta tipo invernadero espacial (invernadero que utiliza postes en concreto y guayas de acero donde se fija las telas plásticas dejando en la parte más baja de la tela una v que sirve como colector de aguas lluvias) que permita tener control sobre la humedad de material en proceso, se puede utilizar tela plástica tipo agrolene verde rosa (con refuerzos en bordes y parte central) calibre 8, estas telas por desgaste y acción del sol tienen una duración de 24 a 28 meses.

4.3.2.4. Área de vías internas. Se deben prever vías por donde se desplaza la maquina volteadora, con el equipo que contiene la manguera para la aplicación del efluente, y para el tránsito de volquetas para el ingreso y retiro de material.

4.3.3. Maquinaria necesaria. Para el transporte de residuos de la extractora a la planta de compostaje se puede utilizar:

- Un sistema de bandas transportadoras para el raquis (la más utilizada es de 600m.m, 24 pulgadas de ancho y una velocidad de 0,5 m/s.
- Camión-contenedor.
- Tractores con volcos accionados por hidráulico.
- Transporte en cable vía.

Se debe tener en cuenta que las cenizas, fibra y cascarilla por la diferencia grande de volumen/hora en que se producen se requiere que estén el día anterior en la planta de compostaje para poder homogenizar con la tusa. Estos subproductos se pueden recoger en contenedores y transportarlos directamente a la zona de armado de pila.

4.3.3.1. Equipo volteador. La función de los volteadores es dar vuelta y mezclar el material que se encuentra apilado y en proceso de degradación, algunas maquinas mezclan a medida que van volteando las pilas. Existen variados tipos de volteadores depilas, hay modelos que pueden trabajar con pilas de hasta 6,6 m de ancho y 3,3 m de altura. Los volteadores son maquinarias esenciales en aquellas plantas que manejan volúmenes altos de material que exigen una alta calidad del producto final en una planta de compostaje.

Tabla 8. Equipos volteadores según la capacidad de producción

Modelo	BACKHUS 16.43	BACKHUS 6,75
Tipo	volteadora de pila	volteadora de pila
Ancho de trabajo	4,3 m	6,80 m
Altura de trabajo	2,1 m	3 m
Producción	2.400 m3/h	6.500 m3/h
Potencia	Potencia 160 CV motor diesel	Potencia 600 CV motor diesel
Característica	Tecnología probada a precio económico, rastrillos ajustables. Motor diesel de bajo consumo, controles cómodos y gran manejabilidad. La más alta capacidad de volteo en su clase.	La serie de BACKHUS es la más usada en el mundo, con cabina panorámica confortable y fácilmente accesible. De fácil mantenimiento, y un sobresaliente rendimiento en aplicaciones profesionales.
		
BACKHUS 16.43		BACKHUS 6.75

Fuente: <http://www.backhus.com/8-4-Techniklexikon-.html>. Citada el 11 de marzo del 2012.

La selección del equipo apropiado depende del ancho y alto de cama a trabajar y la producción esperada.

4.3.3.2. Astilladora o trituradora. Su función de la trituradora comúnmente conocida, es dar un tamaño de partículas aceptable, en el orden de 5cm, y de fácil degradación en el proceso de compostaje. Esta maquinaria posee un disco giratorio con cuchillas en su superficie para cortar el material en la cual se introducen las ramas contra la cara del disco, y las cuchillas cortan estas ramas en trozos recibiendo el nombre de *chip*. Las ramas previas al ingreso a la maquina son cortadas y estas deben tener concordancia con el tamaño de la trituradora, es decir que los equipos grandes no pueden manejar tamaños pequeños de material procesado y viceversa. Para un mejor funcionamiento de la maquina se debe emplear material vegetal seco y tener las cuchillas afiladas.

Las trituradoras en general tienen una capacidad de rendimiento de 10 a 50 m³/h.

4.3.3.3. Retroexcavadora o pala frontal. Es necesaria según los volúmenes a manejar y sus funciones son elaborar pilas, voltear y cargar camiones.

Figura No. 13. Retroexcavadora o pala frontal.



Fuente:http://www.deere.com/jdla/es_LA/index.html?gclid=CNeakK3d6a8CFYR9OgodW2yu8. Citada el 11 de marzo del 2012.

4.3.3.4. Camión aljibe. Las funciones del camión aljibe son mantener la humedad de los materiales que se encuentran en las áreas de acopio, regar diariamente cada una de las pilas.

Figura No. 14 Camión aljibe.



Fuente:http://www.deere.com/jdla/es_LA/index.html?gclid=CNeakK3d6a8CFYR9OgodW2yu8A. Citada el 11 de marzo del 2012.

5. COSTOS DE PRODUCCION DE COMPOSTAJE.

Para obtener los costos de producción de una tonelada de compostaje, se tomó como base los subproductos de palma de aceite, generados por la extractora de Indupalma Ltda., con una capacidad de proceso de 60 toneladas por hora, con extracción del 21%.

Esta planta extractora se encuentra localizada en la zona central palmera de Colombia, entre los municipios de San Alberto al sur del departamento del Cesar, Río negro al nororiente del departamento de Santander y La Esperanza al occidente del departamento de Norte de Santander, entre los 07° 47'42" y 07° 36'45" de latitud norte, 73° 23'33" y 73° 34'48" de longitud oeste de Greenwich.

5.1. ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS

Según los datos suministrados por el centro de información de Indupalma, se estima un proceso de 246.020 toneladas de fruto proceda/año y se calculan las siguientes proporciones del fruto:

- Tusa el 23,5%
- Fibra el 6,5%
- Cascarilla el 1,4%
- Ceniza el 1,02%
- Efluente el 80%

5.2. ANALISIS VOLUMÉTRICO DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA PLANTA EXTRACTORA.

Tabla 9. Cantidad de volumen de de residuos generados en la planta de compostaje diarios.

Residuo	Ton. / día	Densidad	m ³ / día
Tusa	158,40	0,40	395,99
Fibra	43,81	0,35	125,18
Cascarilla	9,44	0,75	12,58
Cenizas	6,90	0,44	15,69
Totales	218,55	0,40	549,44

Fuente: Indupalma Ltda.

5.3. ÁREA REQUERIDA DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.

Para calcular el área requerida se necesita conocer el total de residuos a procesar en el año, y se emplea la siguiente fórmula:

Toneladas de compostaje producido al día =

Total de residuos producidos – (total de residuos por las pérdidas x humedad más volátiles)

Tabla 10. Toneladas de compost producido.

Pérdidas x humedad + volátiles	60,28%
Total de toneladas compost producido / día	86,81
Total de toneladas compost producido / año	31.685

Fuente: Autoras de la monografía.

Para determinar la cantidad de toneladas de residuos orgánicos a tratar por día se toma como base 365 días de trabajo de la planta extractora y no se toman los días efectivos trabajados, dejando un margen superior de días a procesar, pensado en cubrir imprevistos que se presenten en proceso; teniendo en cuenta estos parámetros la planta procesará 31.685 toneladas de compostaje, y para este volumen se requiere la siguiente área:

Tabla 11. Total del área requerida para procesar el compostaje.

Áreas requeridas	Cantidad	Área (m ²)
Reservorio	1	7.000
Módulos necesarios(66,7 x 171)/m ²	4,03	46.289
Vías internas	2	6.856
Zona agua lluvias-tensores	2	4.330
Zona tensores culatas		2.691
Vía perimetral, oficina, otros	1	2.580
Total		69.746

Fuente: Autoras de la monografía.

La sumatoria de las áreas requeridas da como resultado 69.746m² es decir 6,9 hectáreas.

5.4. COSTO UNITARIO DEL COMPOSTAJE. Para determinar el costo unitario del compostaje, se deben tener en cuenta varios factores, los cuales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Factores influyentes en el costo del compostaje.

Ítems	Egresos (\$)
Nómina	292.680.000
Costo operación volteadora	484.398.340
Costo operación camiones	165.105.587
Gastos administración	36.000.000
Servicio energía	63.212.438
Total egresos	1.041.396.366
Depreciación	405.038.117
Interés anual	910.928.318
Total general	2.357.362,800.00
Costo ton / compost	74.401
Costo kilo / compost	74

Fuente: Autoras de la monografía.

5.4.1. Nómina. Es el personal requerido para la operación de la planta, para operarla a plena capacidad, se requiere: coordinador de planta (1),

secretaria (1), tecnólogo para laboratorio (1), ayudante de laboratorio (1), supervisores (2), operadores del equipo volteador (2), operadores de cargador (2), personal de mantenimiento electromecánico (1), personal de mantenimiento de cubiertas (3), ayudante de mecánica (2) y personal de oficios varios (2), la labor del manejo de residuos se hace en dos turnos de ocho horas (6:00 am a 10:00 p.m.) (Ver Anexo A).

Las responsabilidades del personal que labora en la planta de compostaje son las siguientes:

Secretaria: Debe mantener los registros de monitoreo, laboratorio, conformación de pilas, junto con los ingresos de residuos al día, además debe elaborar el informe de manejo de personal según los datos de los supervisores, al igual que elaborar los pedidos de acuerdo a lo solicitado por supervisores, y estar atenta de los registros y la actualización de los mismos.

Tecnólogo del laboratorio: Debe realizar las diferentes pruebas y mantener al día los resultados en la base de datos de la planta.

Supervisor: Debe estar pendiente del cumplimiento del reglamento de la empresa, de ejecutar las órdenes, de los inventarios, orden en conformación de pilas, entrega de producto terminado, labores requeridas en manejo del reservorio, del cumplimiento del horario de mantenimiento de equipos, además de llevar y verificar registros.

Operador equipo volteador: Debe realizar la oxigenación y aplicación de efluentes con la volteadora, estar atento del aseo y mantenimiento del equipo.

Operador de cargador: Debe realizar la conformación de los residuos en el sitio de armado de pilas, cargue de producto terminado, limpieza de la planta, estar atento del aseo y mantenimiento del equipo.

Personal electromecánico: Deben solucionar daños, realizar el mantenimiento en los equipos, colaborar en la solución de problemas electromecánicos.

Ayudante de mecánico: Debe colaborar en todas las labores del electromecánico.

Personal Oficinas varios: Deben registrar la temperatura de las pilas, toma de muestras de compostaje, aseo de la planta, manejo del reservorio y mensajería.

Personal para el mantenimiento de cubiertas: Deben permanente realizar la revisión de las guayas, tensión de guayas y cambio de telas dañadas.

5.4.2. Costo operación volteadora. Para el caso de estudio se escogió la volteadora de pila BACKHUS 6,75 la cual tiene una producción por hora de 6.500m³.

Para obtener los costos de operación se tuvieron en cuenta los costos de mantenimiento al año, el costo del combustible (consumo de maquina 15 galones/hora) y la depreciación en 20 años, estos valores se pueden ver reflejados en la Tabla 13.

Tabla 13. Costo operación de la máquina volteadora.

Descripción	Unidad	Costo
Tiempo trabajo / año	Hora/año	5.981
Mantenimiento	\$/hora	34.257
Consumo combustible	Gal/hora	15
Costo mantenimiento	\$/año	104.906.407
Costo combustible	\$/año	325.750.338
Depreciación a 20 años	\$	53.741.595
Costo maquina por hora	\$/hora	147.857
Total costo de operación	\$/ año	484.398.340

Fuente: Autoras de la monografía.

5.4.3. Costo operación camiones. El transporte de residuos desde la extractora hasta el sitio de armado de pilas debe hacerse con camiones y contenedores, por la facilidad de solucionar imprevistos y poder cubrir otros servicios de transporte dentro la planta de compostaje. Adicionalmente, el camión debe ser comprado y administrado por la planta de compostaje, con el fin de disminuir la afectación en el costo unitario del compostaje.

Teniendo en cuenta, el bajo costo de operación en los 10 años, y por ende incidir en menor grado en el costo unitario del compostaje, se seleccionó el camión HINO FM1J LUD. Donde el costo de operación de los camiones, se obtiene con base en:

$$\frac{\text{Costo}}{h} = \text{Tiempo de trabajo al día} * \text{días trabajados en el año}$$

Donde,

El tiempo trabajado al día son 16,39 horas.

Días trabajados en el año son 365.

Tabla 14. Costo de operación de los camiones.

ITEMS	VALOR
Tiempo Trabajo / Año	3250
Mano de Obra	4.493.000
Lubricantes	5.743.800
Filtración	3.878.600
Costo Combustible	74.880.000
Repuestos preventivo	714.200
Costo / Hora	27.603
TOTAL (\$)	165.105.587

Fuente: Autoras de la monografía.

5.4.4. Gastos administrativos. Es total de gastos administrativos de \$3.000.000 al mes.

5.4.5. Servicios de energía. Este costo corresponde a la relación de los kilovatios consumidos por los equipos de la planta de compostaje (electrobomba, bombas, alumbrado, oficinas, laboratorio, taller y otros equipos) en el año y el compostaje producido al año, por el costo del kilovatio (Ver anexo B).

5.4.6. Depreciación. Es la sumatoria de la depreciación de las inversiones iniciales sobre la vida útil del mismo, tal y como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Depreciaciones de las inversiones.

Inversión inicial	Total	Años de depreciación	Total
Costo obra civil + oficinas	1.923.806.314	20	96.190.316
Costo cubierta	1.319.841.382	20	65.992.069
Volteadora	1.118.031.900	10	111.803.190
Camión	238.000.000	10	23.800.000
Cargador	488.000.000	10	48.800.000
Sistema de brazo hidráulico - volcó	113.680.000	10	11.368.000
Contenedores / volcó	187.920.000	10	18.792.000
Sistema eléctrico	213.525.423	10	21.352.542
Equipos laboratorio	34.700.000	5	6.940.000
Total depreciación			405.038.117

Fuente: Autoras de la monografía.

5.4.7. Interés anual. Este valor resulta del 16% de la inversión inicial (tabla 16), donde el rubro más relevante, son las obras civiles, obteniendo así, el costo del metro cuadrado en \$27.582.

Tabla 16. Total de inversiones.

Inversiones totales		
Ítem	Costo total	Interés anual
Costo de la tierra	55,796,968	8,927,515
Costo obra civil + oficinas	1,923,806,314	307,809,010
Costo cubierta	1,319,841,382	211,174,621
Volteadora	1,118,031,900	178,885,104
Camión	238,000,000	38,080,000
Cargador	488,000,000	78,080,000
Sistema de brazo hidráulico -volcó	113,680,000	18,188,800
Contenedores / volcó	187,920,000	30,067,200
Sistema eléctrico	213,525,423	34,164,068
Equipos laboratorio	34,700,000	5,552,000
Total inversiones iniciales	5,693,301,988	910,928,318

Fuente: Autoras de la monografía.

5.4.8. Total general. Es la sumatoria de todos los ítems anteriormente descritos.

5.4.9. Costo tonelada de compostaje. Para el costo de producción de una tonelada de compostaje para los residuos de la planta extractora de Indupalma Ltda., se tuvo en cuenta las inversiones iniciales al comprar los equipos y maquinaria requerida (volteadora, brazo hidráulico, camión, cargador, volco), y la adquisición de la tierra.

Teniendo en cuenta estos rubros, el costo de la tonelada de compostaje producido en esta planta es de \$74.401 es decir \$74 por kilo de compostaje.

6. CONCLUSIONES

En la planta extractora de aceite de palma se generan residuos orgánicos tales como tusa, fibra, cascarilla, lodos y cenizas, los cuales tienen un período de degradación natural entre 120 y 150 días y no garantizan un aporte a la fertilización y recuperación de los suelos. Con el proceso de compostaje se logra reducir el tiempo en descomposición de 84 a 90 días generando un producto amigable con el medio ambiente logrando devolverle al suelo los nutrientes y materia orgánica.

Con la implementación de la planta de compostaje se realiza un tratamiento aeróbico a los residuos sólidos y líquidos orgánicos provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, de tal forma que se evita la emisión de metano, uno de los gases causantes del efecto invernadero, además se eliminan los olores y la afectación de cuerpos de agua.

El proceso de compostaje permite que los nutrientes de los residuos sólidos y líquidos orgánicos sean recuperados, obteniendo un producto que puede ser aplicado en el suelo en forma de fertilizante orgánico, contribuyendo a mejorar las condiciones del mismo. El compost contribuye al mantenimiento y recuperación del creciente deterioro ecológico y del medio ambiente.

Las variables de mayor influencia en el proceso del compostaje son, la relación carbono/nitrógeno, área superficial de exposición, aireación o disponibilidad de oxígeno, humedad, temperatura de la pila, temperatura exterior, pH, y tamaño de partícula.

Al realizar un estudio técnico sobre el diseño de una planta de compostaje, se pudo establecer, que los factores más influyentes son las inversiones iniciales, las cuales, sin lugar a dudas determinan el costo unitario del compostaje, por lo tanto se infiere que para aumentar la rentabilidad de la producción, se hace

necesario utilizar las instalaciones de la planta extractora, para la planta de compostaje reduciendo las inversiones en las obras civiles que representan uno de los costos más determinantes.

En la legislación Colombiana no existen parámetros claros, que direccionen las características para obtener compostajes de buena calidad, utilizando los subproductos de la palma africana.

Los proyectos de compostaje se pueden inscribir al desarrollo limpio MDL de la Naciones Unidas, recibiendo ingresos como el CER (certificado de emisiones reducidas), por reducir las emisiones de efecto invernadero, por ende, estos aportes podrían mitigar las inversiones iniciales de estos proyectos.

BILIOGRAFÍA

[1]. AV COMPOSTING LTDA., (2008). Estudio para el montaje de una planta de compostaje en la planta industrial de Oro Rojo Ltda. Unidad de Operación Industrial de Proyectos-Gestión Integral de Procesos.

[2]. BELTRÁN, M., (1999). Estudio piloto del tratamiento de residuos sólidos generados en Maltería Tropical- Cartagena, mediante la técnica del compostaje. Convenio Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar. Especialización Ingeniería Ambiental– Universidad Industrial de Santander.

[3]. GARCIA, J.A., et al., (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de plantas de aceite en Colombia. Revista Palmas, volumen 31, No 2.

[4]. GARCIA, J.A., et al., (2008). Uso potencial de la biomasa residual generada en la agroindustria de la palma de aceite. Documento interno. Cenipalma, Programa procesos y usos.

[5]. PAREDES O., F, (2011). Plantas extractores. Palmeras de los Andes, página 11.

[6]. GÓMEZ, José y RODRIGUEZ, David. Elaboración de compostaje con el fruto de la palma africana. Revista Agronomía de la producción INIA Divulga 13. Mayo-Agosto. Venezuela, 2009.

[7]. <http://www.abarrataldea.org/manual.htm>. Citada el 15 de marzo del 2012.

[8]. <http://www.anape.es/pdf/ficha42.pdf>. Citada el 11 de marzo del 2012.

[9]. <http://www.miscanteros.com.ar/compost/fases.htm>. Citada el 14 de marzo del 2012.

- [10]. INDESA S.A, Inversiones y desarrollo. Compostaje de sub-productos de la extracción de aceite crudo de palma. Finca Pataxte, El Estor, Izabal. Guatemala, 2008.
- [11]. Norma NTC 5167 (2004). Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo.
- [12]. PELÁEZ D., Carlos y RESTREPO G., Alejandro. Compostaje y uso en previvero de subproductos de la palma de aceite. AMBISA S.A. Medellín, 2004
- [13]. SANHUEZA, C., (2005). Plan de manejo y su impacto en la gestión de residuos orgánicos en mini-planta de compostaje de la comuna de La Pintana. Universidad de Santiago de Chile, páginas 20-28.
- [14]. TORRES, R. y CHINCHILLA, C., (1999). Compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. XI Congreso Nacional Agronómico.
- [15]. VARGAS, C., et al., (2009). Diseño, montaje y puesta en marcha del mecanismo de desarrollo limpio “plan de compostaje industrial para el manejo de residuos sólidos y líquidos de Oro Rojo Ltda.”. Unidad de Operación Industrial de Proyectos-Gestión Integral de Procesos, páginas 5-8.
- [16].TORRES, et al., (2004), Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. Revista Palmas, volumen 25, No Especial, Tomo II.

ANEXOS

Anexo A. Costos del personal.

Costos de personal - dos turnos				
Nómina	Cantidad	Salario	Costo mensual	Costo anual
Coordinador de planta	1	3.000.000	3.000.000	36.000.000
Secretaria	1	700.000	700.000	8.400.000
Tecnólogo químico	1	1.202.500	1.202.500	14.430.000
Auxiliar de laboratorio	1	700.000	700.000	8.400.000
Supervisores	2	1.387.500	2.775.000	33.300.000
Operarios volteadora	2	1.202.500	2.405.000	28.860.000
Operario cargador	2	1.202.500	2.405.000	28.860.000
Operario volqueta - tractor	3	1.202.500	3.607.500	43.290.000
Ayudante volteadora	2	700.000	1.400.000	16.800.000
Oficios varios	2	700.000	1.400.000	16.800.000
Mecánico	1	1.295.000	1.295.000	15.540.000
Mantenimiento de cubiertas	3	700.000	2.100.000	25.200.000
Ayudante de mecánica	2	700.000	1.400.000	16.800.000
		Suma	\$24.390.000	\$ 292.680.000

Fuente: Autoras de la monografía.

Anexo B. Servicios de energía.

Descripción	Carga instalada/w	Factor demanda	Demanda máxima/w	Horas día	Consumo año/kw
Electrobomba-sistema. hidráulico	24245	1	24245	14	123.892
Bombas lagunas	14415	0,9	12973,5	8	37.883
Equipos 220 / 127 v	9000	0,7	6300	7	16.097
Alumbrado	16000	1	16000	12	70.080
Oficina, laboratorio, taller	12200	0,7	8540	12	37.405
Pequeños equipos	4500	0,5	2250	4	3.285
Total consumo en kw / año					288.641
Total consumo en kw / ton. Compost					9,11
Valor kw (\$119) / año					\$ 63.212.438
Valor de un kw					219

Fuente: Autoras de la monografía.