



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS
NATURALES**

Informe de propuesta tecnológica para obtener el título de:
INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES

**GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR TÉCNICAS DE
COMPOSTAJE EN LA EXTRACTORA TEOBROMA.**

Autora

MARÍA ANGÉLICA SANTOS VEAS

Director

Ing. FRANCCEL XAVIER LÓPEZ M, *MSc.*

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Febrero – 2018

GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR TÉCNICAS DE
COMPOSTAJE EN LA EXTRACTORA TEOBROMA.

Ing. Francel Xavier López M, *MsC*

DIRECTOR

APROBADO

Lic. Marco Antonio Jácome Rivera, *MsC*

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Enrri Oswaldo Jaramillo Arciniega, *MsC*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. José Luis Cedeño Zambrano, *MsC*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, de de 2018

Autor: **MARÍA ANGÉLICA SANTOS VEAS**

Institución: **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Título: **GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS
POR TÉCNICAS DE COMPOSTAJE EN LA
EXTRACTORA TEOBROMA.**

Fecha: **FEBRERO, 2018**

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



María Angélica Santos Veas
C.I. 2300612450

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 31 de enero de 2018

Señora Ingeniera
Karina Cuenca Tinoco, *MsC*
DIRECTORA ACDÉMICA (E) UTE-SD
Presente.

Señora Directora

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado la señorita: *MARÍA ANGÉLICA SANTOS VEAS*, cuyo título es: “*GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR TÉCNICAS DE COMPOSTAJE EN LA EXTRACTORA TEOBROMA.*”, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Cordialmente,



Ing. López Mejía Francel Xavier, *MsC*
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

A mi mamá y mis hermanos, que son mi mayor motivo de inspiración y mis más grandes bendiciones, a todos mis familiares por confiar en mi y apoyarme pese a la distancia.

Y de manera muy especial y con mucho cariño para mi tío favorito, para nuestro ángel de la familia.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por sus bendiciones y concederme la fortaleza para llegar a esta meta.

A mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado, sobre todo a mi mamá que supo hacer de mi una mujer de bien, inculcándome valores y principios.

A mis hermanos, Kevin, Jampiere y Freddy por el amor y cariño que me brindan, por ser mi inspiración para alcanzar los logros que quiero para ellos.

A todos mis familiares por el apoyo y motivación que me brindaron durante el transcurso de esta meta.

A mis docentes por sus conocimientos compartidos, que han contribuido a mi formación profesional, de manera especial a mi director de tesis Ing. Xavier López, por su apoyo y aportar con sus conocimientos en la elaboración del presente trabajo.

A la empresa Teobroma que me abrió las puertas de sus instalaciones y me otorgo la información necesaria para la ejecución del presente trabajo, especialmente al Ing. Santiago Rosero y Don Richard Bastidas, por el aporte de sus conocimientos y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos por el apoyo y los momentos buenos y malos compartidos durante esta etapa universitaria.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300612450
APELLIDO Y NOMBRES:	Santos Veas María Angélica
DIRECCIÓN:	Parroquia Monterrey – La Concordia
EMAIL:	santosmariangelica@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	
TELÉFONO MÓVIL:	0985591655

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Gestión de residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma.
AUTOR O AUTORES:	María Angélica Santos Veas
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Febrero 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Francel Xavier López M, MSc
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental Y Manejo De Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	El objetivo general del presente trabajo fue gestionar los residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma, para ello se inició con una caracterización de estos, generados en la planta extractora de aceite rojo y que según una investigación bibliográfica previa son utilizados en el proceso de compostaje, estos fueron raquis, fibra y lodo de tricanter, de los cuales se determinó la cantidad de generación en toneladas por semana, trimestral y semestral; el promedio de generación semanal, tiempo en el que se consideró para formar una pila fue de 662,927 t o 662 927 Kg. También se estableció la relación carbono/nitrógeno entre el raquis, fibra y lodo de tricanter, para la época lluviosa

	(invierno) de 36,463/1 y para la época seca (verano) de 36,206/1, demostrándose que la relación está dentro del rango óptimo a compostar (no debe pasar los 40/1 de relación). Finalmente se propone el diseño de una planta de compostaje operativa de infraestructura completa para los desechos: raquis, fibra y lodo de tricanter en base a la cantidad de generación de desechos y análisis de laboratorio.
PALABRAS CLAVES:	Compostaje, residuos sólidos orgánicos, raquis, fibra, lodo de tricanter, relación carbono / nitrógeno, palma aceitera.
ABSTRACT:	The general objective of this work was to manage organic solid waste by composting techniques in the Teobroma extractor, for which it was started with a characterization of these, generated in the red oil extraction plant and that according to a previous bibliographical research are used in the composting process, these were rachis, fiber and tricanter mud, of which the amount of generation was determined in tons per week, quarterly and half-yearly; the weekly generation average, time in which it was considered to form a pile was 662,927 tons or 662 927 kg. The carbon/nitrogen ratio between the rachis, fiber and tricanter mud was also established for the rainy season (winter) of 36,463/1 and for the dry season (summer) of 36,206/1, showing that the ratio is within the optimum range to be composted (it should not pass the 40/1 ratio). Finally, we propose the design of a complete infrastructure operational composting plant for waste: rachis, fiber and tricanter mud based on the amount of waste generation and laboratory analysis.
KEYWORDS	Compost, organic waste, rachis, fiber, tricantermud, carbon / nitrogen ratio, oil palm

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



SANTOS VEAS MARÍA ANGÉLICA

C.I. 2300612450

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **SANTOS VEAS MARIA ANGELICA**, CI 230061245 autora del proyecto titulado: **Gestión de residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma**. previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 03 de febrero de 2018



SANTOS VEAS MARÍA ANGÉLICA

C.I. 2300612450



La Concordia, 10 de noviembre de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, SANTIAGO JOSÉ ROSERO ÁLVAREZ, con cédula de ciudadanía N° 1713181566, en calidad de Coordinador de Seguridad Industrial y Medio Ambiente de ALCOPALMA SA, autorizo a MARÍA ANGÉLICA SANTOS VEAS, con cédula de ciudadanía N° 2300612450, a realizar la investigación para la elaboración de su trabajo escrito de titulación bajo la modalidad de propuesta tecnológica titulado: *"Gestión de residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma"*, basada en la información proporcionada por la compañía.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Santiago Rosero A.", is written over a horizontal line.

Ing. Santiago Rosero A.

The logo for ALCOPALMA S.A. features a stylized circular icon with a central dot, followed by the text "ALCOPALMA S.A." and "RUC.: 1791409582001" in a bold, sans-serif font.

ALCOPALMA S.A.
RUC.: 1791409582001

Coordinador de Seguridad Industrial y Medio Ambiente
Alcopalma S.A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Contenido	Pág.
	Portada.....	I
	Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
	Responsabilidad del autor.....	III
	Aprobación del director.....	IV
	Dedicatoria.....	V
	Agradecimiento.....	VI
	Formulario de biblioteca.....	VII
	Declaración y Autorización.....	X
	Carta de auspicio.....	XI
	Índice de contenido.....	XII
	Índice de tablas.....	XIII
	Índice de figuras.....	XIV
I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	CONTENIDO TÉCNICO.....	3
2.1.	Localización.....	12
2.2	Metodología.....	13
2.3	Parámetros de evaluación.....	18
III.	RESULTADOS	21
	Diagnóstico.....	21
	Propuesta Tecnológica.....	23
	Análisis económico.....	32
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
	REFERENCIAS.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

1	Composición fisicoquímica del raquis	4
2	Composición fisicoquímica de la fibra	5
3	Composición fisicoquímica del lodo.....	5
4	Ubicación de las coordenadas geográficas.....	13
5	Generación de desechos sólidos orgánicos en verano. Julio – diciembre 2016.....	17
6	Generación de desechos sólidos orgánicos en invierno. Enero – junio 2017.....	17
7	Manejo de la generación de fibra. Julio – diciembre 2016.....	18
8	Manejo de la generación de fibra. Enero – junio 2017.....	18
9	Relación carbono/nitrógeno.....	18
10	Potencial de calentamiento global de cuatro alternativas de uso de subproductos de la agroindustria de palma aceitera.....	22
11	Inversión inicial en construcción.....	32
12	Inversión en contrato de personal.....	32
13	Pago por servicios básicos.....	33
14	Costos de mantenimiento para las instalaciones de la planta de compostaje.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Estructura general de racimos vacíos de palma aceitera	4
2	Pilas estáticas aireadas en forma pasiva.....	8
3	Pilas aireadas forzadas.....	8
4	Sistema rectangular de cama.....	9
5	Proceso de extracción del aceite rojo de palma en la extractora Teobroma, con sus respectivos residuos.....	14
6	Sistema manual para el llenado de compost en sacos, con la ayuda de soportes y ganchos para fibra.....	25
7	Diseño de la planta de compostaje con los desechos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo de tricanter).....	31

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) según datos de la ESPAC (2016) es considerado uno de los cultivos permanentes de mayor producción a nivel nacional, hasta el 2016 hay plantadas 319 602 ha, cosechadas 263 839 ha, con una producción de 3 124 069 Tm y ventas de 3 124 061 Tm. Las provincias más sobresalientes en la producción de palma africana son: Esmeraldas, Los Ríos y Santo Domingo, en ésta última hay plantadas 25 049 ha, cosechas 21 399 ha, con una producción anual de 273 Tm. Representando el 8,72 % de la producción anual en el país.

De todo la cantidad de fruta cosechada que llega a las extractoras en el Ecuador según FEDEPALMA (2002) del racimo que ingresa al proceso de producción se aprovecha como aceite crudo solo el 35 %, se evapora el 10 % y el 55 % es considerado desecho. El problema para el sector agroindustrial palmicultor, son los residuos generados durante su proceso productivo, los cuales son: raquis o racimos vacíos, lodo, pulpa molida y nuez; el raquis, es el más difícil de descomponerse por si solo, generando contaminación visual, malos olores, atrae insectos y gusanos, lixiviados y contaminación de las aguas subterráneas, generándose de esta manera externalidades negativas por su lenta descomposición y el volumen que ocupa, inclusive se dan pérdidas económicas de dinero y tiempo por su desalojo (Palíz, 2014).

En los últimos años la creciente demanda en el aceite de palma africana ha aumentado la generación del raquis con un problema ambiental. En muchas industrias los racimos son incinerados para la producción de ceniza que es devuelta al campo en forma de fertilizante; sin embargo, al quemar el raquis se crea el problema de contaminación atmosférica (Hashim *et al*, 2011).

Para los subproductos de una extractora de aceite de palma está la alternativa de compostaje, imprescindible para la agricultura sostenible, al utilizarlo como enmienda orgánica aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, es fuente de nutrientes a largo plazo y el suelo tendrá mejor retención de agua (Ros *et al*, 2012).

El compost es un abono orgánico, en el que se descompone la materia orgánica en presencia de oxígeno y microorganismos bajo condiciones controladas.

Químicamente en presencia de oxígeno se transforma el nitrógeno amoniacal a nitrato ya una vez que alcance su última fase del proceso (maduración) (Tolagasí, 2013).

Los subproductos de la palma presentan grandes moléculas complejas como lignina y celulosa que se pueden degradar con hongos (levaduras) y actinomicetos (ANCUPA, 2006).

Mediante la presente propuesta se pretende dar una solución a la actual problemática ambiental, fomentando la aplicación de buenas prácticas ambientales en la empresa, que posterior a su inversión generará empleo en la actividad de compostaje e ingresos económicos por venta del compost. Con la presente propuesta, la extractora tendrá una alternativa para la gestión de los residuos sólidos orgánicos mediante la técnica de compostaje, evitando la acumulación de estos residuos que se generan en grandes cantidades.

Por lo tanto el objetivo general de esta propuesta fue gestionar los residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma, y se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar y analizar los residuos sólidos orgánicos.
- Identificar componentes complementarios para el balance carbono/nitrógeno en el proceso de compostaje de los residuos.
- Diseñar la planta de compostaje.
- Realizar un análisis de costos de la propuesta.

Obteniendo como alcance una adecuada gestión para los residuos raquis, fibra y lodo mediante técnicas de compostaje, reduciendo la externalidad negativa que se presenta actualmente por su acumulación, además de generarse empleo y actividad económica.

II. CONTENIDO TÉCNICO

El cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) fue introducido al Ecuador durante los años 1953 - 1954, con el objetivo principal de disminuir importaciones más costosas de aceite de cocina. Los primeros cultivos empezaron en los cantones: La Concordia, Santo Domingo, Quinindé y Quevedo. (Potter, 2011). Del mesocarpio del fruto de la semilla de palma se extrae el aceite, mediante procesos mecánicos. Es fuente natural de vitamina E y carotenos, constituido de una mezcla de ésteres de glicerol (triglicéridos). El aceite de palma y las fracciones sólidas (estearina) y líquidas (oleína) son utilizados en la elaboración de margarinas y aceites para mesa y cocina, grasas de repostería y confitería, gracias a la versatilidad que posee por su composición de ácidos grasos saturados e insaturados y su aporte nutricional. (Rincón & Martínez, 2009) Esta actividad económica impulsa el desarrollo agropecuario del país, con la atracción de grandes inversionistas, estimándose en las actividades relacionadas 60 mil puestos de trabajos directos y 30 mil indirectos (Palíz, 2014).

Debido al aumento significativo de la producción mundial, el uso en otros campos se ha diversificado como en el de detergentes, combustibles, plásticos, cosméticos, farmacéuticos entre otros, debido al cumplimiento con especificaciones de estos sectores. Por lo tanto es de gran interés el aceite de palma como materia prima para el desarrollo industrial (Rincón & Martínez, 2009).

Durante las fases de operación de la extracción del aceite de palma se generan como importantes impactos positivos para el sector: la mejora de la economía local, mejora de servicios básicos y generación de empleo. Sin embargo, los factores ambientales más afectados son: el agua subterránea, alteración de flora y fauna y la destrucción y erosión del suelo (Arellano, 2017)

Desechos generados durante la extracción del aceite rojo de palma

Como parte del proceso de la extracción del aceite se generan los siguientes desechos:

Raquis

El raquis es el esqueleto que sostiene a los frutos y representa alrededor del 50 % del peso de fruta a procesar, este residuo se genera durante el proceso de desfrute, con estructura de elevada dureza, tiene un tronco central con ramificaciones en manera de espinas. Se caracteriza por tener como elemento básico celulosa, evidenciándose en sus largas fibras. De relación carbono/nitrógeno elevada $> 25:1$. Pese a la gran variedad de tamaños y formas de raquis, que dependen de la edad y calidad de la palma, básicamente su estructura se muestra en la (Fig.1).



Fig. 1. Estructura general de racimos vacíos de palma aceitera.

Fuente: Espinosa, 2014

El raquis se conforma de celulosa, hemicelulosa y lignina, y su composición fisicoquímica se muestra en la (Tabla 1).

Tabla 1. Composición fisicoquímica del raquis

Raquis	Valores	Unidades
C/N	57,8	Relación
N total	0,94	g/100 g (%)
P	0,09	g/100 g (%)
K	1,78	g/100 g (%)
Ca	0,22	g/100 g (%)
Mg	0,16	g/100 g (%)
S	0,1	g/100 g (%)
B	6,8	mg/ Kg (ppm)
Zn	27,3	mg/ Kg (ppm)
Cu	14	mg/ Kg (ppm)
Fe	673,1	mg/ Kg (ppm)
Mn	99,2	mg/ Kg (ppm)

Fuente: Espinosa, 2014

Fibra

Este residuo se genera del fruto, en el paso por el digestor, donde también se genera la nuez, y una mezcla de aceite y lodo, también llamado licor de prensa. El licor de prensa y la nuez pasan a recibir tratamientos posteriores para obtener un producto, mientras que la fibra es un desecho (Feijoo, 2014). La composición fisicoquímica de la fibra se presenta en la (Tabla 2).

Tabla 2. Composición fisicoquímica de la fibra

Fibra	Valores	Unidades
C/N	34,5	Relación
N total	1,55	g/100 g (%)
P	0,105	g/100 g (%)
K	0,395	g/100 g (%)
Ca	0,28	g/100 g (%)
Mg	0,125	g/100 g (%)
S	0,085	g/100 g (%)
B	17	mg/ Kg (ppm)
Zn	22,85	mg/ Kg (ppm)
Cu	22,55	mg/ Kg (ppm)
Fe	998,25	mg/ Kg (ppm)
Mn	108,5	mg/ Kg (ppm)

Fuente: Espinosa, 2014

Lodo de tricanter

El lodo es una mezcla de agua, aceite y tierra, generado en el equipo tricanter, este equipo divide al licor de prensa en: agua, aceite y lodo (Feijoo, 2014). A continuación, se presenta la composición fisicoquímica del lodo (Tabla 3):

Tabla 3. Composición fisicoquímica del lodo

Lodos	Valores	Unidades
C/N	22,5	Relación
N	1,75	g/100 g (%)
P	0,39	g/100 g (%)
K	0,71	g/100 g (%)
Ca	1,03	g/100 g (%)
Mg	0,365	g/100 g (%)

Fuente: Espinoza, 2014

Compostaje

Una de las alternativas para la gestión de los residuos sólidos agroindustriales es el compostaje, este es un proceso donde bajo condiciones controladas se descomponen biológicamente los constituyentes de los desechos con la intervención de variados y numerosos microorganismos, además requieren de sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido y una humedad adecuada (Costa *et al*, 1991).

Según (Suquilanda, 1996) el uso de abonos orgánicos tiene las siguientes ventajas:

El abono orgánico contribuye al mejoramiento de las características físico- químicas del suelo, retención de agua, drenaje y aireación.

Incrementa la incorporación de macronutrientes y micronutrientes en el suelo, mejorando la fertilidad y el rendimiento de cultivos a largo plazo.

Los abonos orgánicos no generan sobrecarga química y previene la erosión del suelo.

Son amortiguadores del suelo en relación con el pH, debido a la materia orgánica que poseen e impiden al suelo alteraciones químicas.

Incrementan la diversidad microbiana del suelo, debido a la materia orgánica incorporada, gracias a los microorganismos los minerales son movilizados y transformados a condiciones que pueden ser absorbidos por plantas.

Los macronutrientes y micronutrientes que son incorporados tienen una lenta absorción, evitando pérdidas por lixiviados y evaporación.

Técnicas de compostaje

Según (Rojas, 2003) de acuerdo a las condiciones de aireación, la calidad requerida en el producto final y periodo de volteo, varían las técnicas de compostaje. La elección del sistema será en función de los objetivos planeados por el productor, la disponibilidad de terreno, complejidad operacional, potencial de generación de problemas ambientales y la inversión. Estas técnicas se dividen en sistemas abiertos y cerrados.

Sistemas abiertos

Compostaje en pilas estáticas

Considerado el más antiguo. En este sistema se forman las camas de baja altura y sin movimiento. La aireación es natural con el aire de influencia alrededor de las camas.

Existe la posibilidad de que se produzca anaerobiosis en ciertas partes de la cama, generando gases, malos olores y lixiviados no deseables. Debido a ello es importante una buena elección de materiales para la mezcla inicial, que permitan a la pila tener la adecuada porosidad durante todas las fases del proceso de compostaje.

La calidad del producto al final no será alta, además de ser un método lento.

Compostaje en pilas de volteo

Este sistema consiste en el amontonamiento del material en galpones o pilas alargadas al aire libre. La forma y tamaño de la pila dependerá del material utilizado, maquinaria disponible y clima. En este sistema sobresale el volteo sea de forma mecánica o manual. Para el volteo mecánico utilizan maquinas volteadoras o cargadores frontales. Para el volteo manual o con cargadores frontales existe mayor riesgo para el material en proceso a no lograr el mezclado ideal.

Compostaje en pilas estáticas aireadas en forma pasiva

Los materiales a compostar se colocan en forma de pilas, esta técnica que se caracteriza por airear en forma pasiva al material a compostar, mediante tuberías perforadas colocadas por debajo de la pila, como se muestra en la (Fig. 2). Entre 1,0 y 1,5 metros es la altura recomendada para la pila. Se requiere de una cubierta porosa, que permita el ingreso de aire adecuado mediante las tuberías. Además, la cubierta controla humedad y retiene olores. Una mezcla inicial adecuada es importante para asegurar una buena estructura y porosidad que permitan la aireación adecuada.

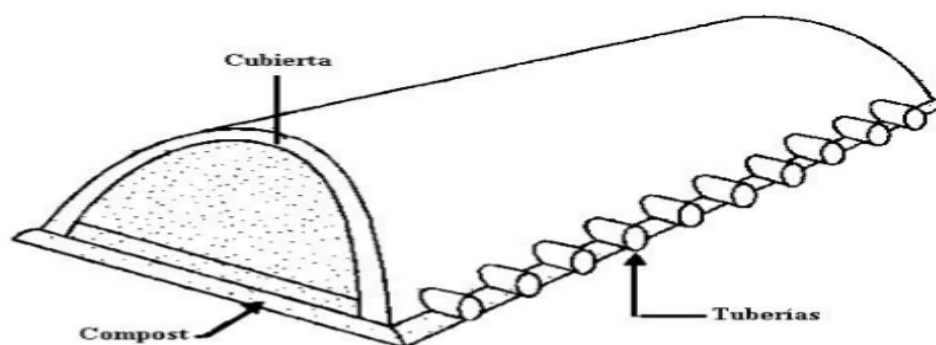


Fig. 2. Pilas estáticas aireadas en forma pasiva

Fuente: Rojas, 2003

Compostaje en pilas aireadas forzadas

Este sistema requiere de un compresor succionador de aire hacia el exterior o lo administra hacia el interior (Fig. 3). Este compresor permite airear y enfriar a la pila.

Esta técnica necesita de un conjunto de equipamiento tales como: el compresor, válvulas y sistemas de control de presión de aire, humedad, temperatura, tuberías, que hacen de esta técnica una de las de mayores costos de inversión.

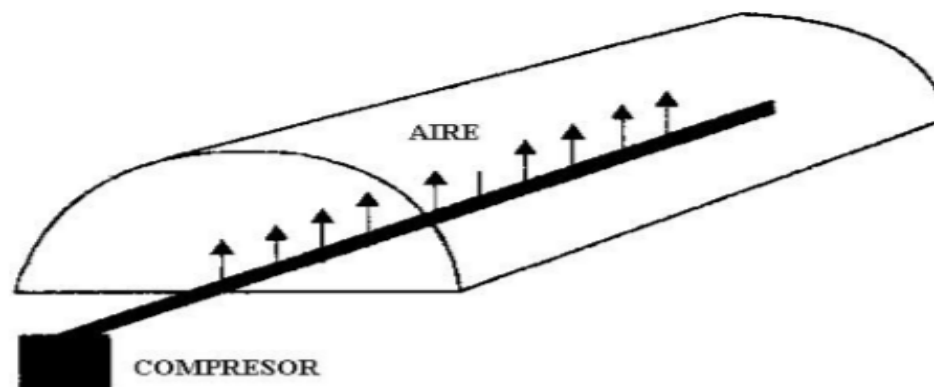


Fig. 3. Pilas aireadas forzadas.

Fuente: Rojas, 2003

Sistemas cerrados

Compostaje en reactores

Esta técnica se la realiza en contenedores cerrados, la velocidad de descomposición es rápida de 10 a 14 días, considerada como la ventaja principal en este sistema. Re-

quiere de pocos terrenos y tiene un perfecto control de proceso y calidad del producto final. Uno de los más utilizados es el sistema rectangular de cama (Fig. 4).

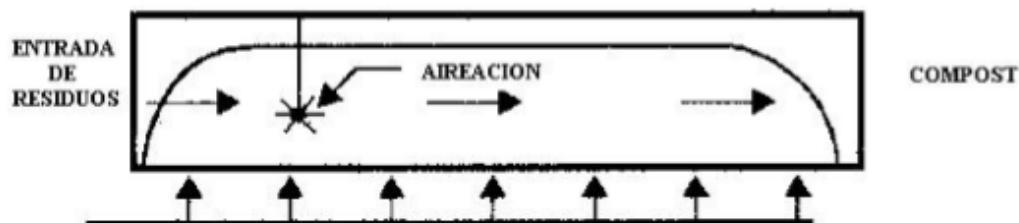


Fig. 4. Sistema rectangular de cama

Fuente: Rojas, 2003

Microorganismos en el proceso de compostaje

Microorganismos eficientes (E.M).

En la Universidad de Ryukyus, en Okinawa fue desarrollado por primera vez el término de microorganismos eficientes (E.M) por el profesor Teruo Higa. Los E.M. están conformados de una gran variedad de microorganismos benéficos existentes en la naturaleza, se utilizan como inoculantes cuando se desee aumentar la diversidad de microorganismos de los suelos, aumentado a la vez la salud y calidad del suelo. Entre las especies seleccionadas que conforman los E.M. están las bacterias fotosintéticas y ácido láctico, hongos fermentadores, levaduras y actinomicetos, existiendo mutuamente compatibles en el medio líquido (Higa & Parr, 2010).

Higa a comienzo de los sesenta inició con la búsqueda de una alternativa para reemplazar los pesticidas y fertilizantes, debido a ello los E.M. eran utilizados como acondicionadores del suelo y en la actualidad también son usados para tratar desechos líquidos y sólidos generados de actividades agropecuarias, agroindustriales y municipales (APROLAB, 2007).

Microorganismos autóctonos (EMAs).

La aplicación de microorganismos autóctonos (EMAs) ayuda al material orgánico a su descomposición mediante la generación de ácidos orgánicos, vitaminas y sustancias bioactivas, que en general no se encuentran en el suelo.

Los EMAs actúan en simbiosis y la efectividad de su aplicación depende de óptimas condiciones para el metabolismo de sustratos disponibles de fuentes energéticas, oxígeno, agua, temperatura y pH (Terry *et al*, 2005).

Los microorganismos eficientes Autóctonos (EMAs) están conformados por la comunidad mixta microbiana de bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas, hongos fermentadores y levaduras.

Microrganismos presentes en E.M. y EMAs

Bacterias acidolácticas

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos, desarrollados por levaduras y bacterias fotosintéticas que en este caso han actuado sobre residuos orgánicos, el ácido láctico contribuye a la degradación de microorganismos no benéficos, debido a que actúan sobre ellos como un fuerte agente esterilizante, por lo tanto también contribuye a la degradación de lignina y celulosa favoreciendo el grado idóneo de descomposición. Las bacterias *L. citreum* y *Lactobacillus lactis* al parecer son responsables de la producción de hidrocarburos (metano e isoterpeno), compuestos sulfurados y alcoholes (Moreno & Mormeneo, 2007).

Bacterias fotosintéticas

Son las bacterias autosuficientes, sintetizan aminoácidos, sustancias bioactivas y azúcares, proceso en el cual requieren del empleo de gases perjudiciales y materia orgánica, utilizando como fuente de energía el calor del suelo y la luz solar.

Estas cepas microbianas generan metabolitos que son absorbidos en forma directa por vegetales y aportan al desarrollo de otros microorganismos benéficos. En la zona de la rizósfera como ejemplo la solubilidad de componentes como fosfatos presentes en el suelo es aumentada por las micorrizas de tipo vesicular arbuscular (VA), por ende la asimilación de fósforo se facilita en las plantas donde no se encontraba (Higa & Parr 1993).

Hongos fermentadores y levaduras

En el proceso de descomposición de la celulosa las investigaciones revelan como colonizadores a los hongos *Rhizoctonia solani*, *Humicola* spp, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium* y *Apergillus* (Arévalo, 2002).

Relación carbono/nitrógeno (C:N)

La relación carbono/nitrógeno, es considerado un indicador muy útil para evaluar el desarrollo y calidad del compost. El valor es estimado entre 25:1 y 40:1, pues varía según los autores. Esta variación será en función del material de partida, y su relación numérica se obtiene al dividir el contenido de Carbono (% C total) sobre el contenido de Nitrógeno (% N total) de los materiales a compostar (Román *et al*, 2013).

La importancia de establecer la relación C:N radica en que un exceso de carbono o de nitrógeno provocarían graves problemas durante el proceso de compostaje, según (Román *et al*, 2013); una relación C:N > 35:1, indica la presencia de un exceso de carbono, lo que provocaría que el proceso tienda a enfriarse y relentizarse, la solución en este caso es añadir material rico en nitrógeno hasta obtener la relación adecuada. Por otro lado una relación C/N < 15:1, indica un exceso de nitrógeno lo que provocaría la generación de amoníaco (NH₃) y malos olores debido a que el proceso tiende a calentarse en exceso. Lo ideal para evitar esta generación de malos olores es añadir material con mayor contenido de carbono (aserrín, restos de poda, hojas secas). El rango ideal de la relación C/N es: al inicio del proceso (2 a 5 días) entre 25:1 – 35:1, en la fase termofílica II (2 a 5 días) es de 15:1 a 20:1 y al final del proceso el rango óptimo de un compost maduro de (2 a 6 meses) es de 10:1 – 15:1.

Los desechos sólidos orgánicos; raquis, fibra y lodo de tricanter de acuerdo a las investigaciones realizadas presentan una relación carbono nitrógeno elevada de 57,8; 34,5 y 22,5 respectivamente estableciéndose en un promedio de 38:1 de relación carbono nitrógeno y los porcentajes ideales de los materiales a compostar son: raquis 37 %, fibra 3 % y lodo 60 % según (Espinoza, 2014).

Los componentes complementarios al compost de desechos de palma aceitera por el gran contenido de carbono son aquellos desechos ricos en nitrógeno, es decir con

relación carbono/nitrógeno baja como: la pollinaza 10 (Peláez *et al*, 1999), estiércol bobino 26 y estiércol porcino 13 (Romero, 1997).

Cálculo de la relación carbono/nitrógeno

Con los datos obtenidos del laboratorio se utilizó la siguiente fórmula general para determinar la relación carbono/nitrógeno del material propuesto a compostar (Schuldt, 2008):

$$(\text{Carbono 1} * \% 1) + (\text{Carbono 2} * \% 2) + (\text{Carbono 3} * \% 3) + \dots$$

Donde:

Carbono corresponde a la relación carbono nitrógeno de cada componente.

Porcentaje pertenece al porcentual de volumen o peso de cada componente en total de la mezcla a utilizar. Se debe considerar el porcentaje dividido en 100.

Se comprende lo siguiente para los ejercicios resueltos a continuación:

Carbono 1 = relación carbono – nitrógeno de raquis, que multiplica al porcentaje de raquis en la mezcla entre todos los componentes.

Carbono 2 = relación carbono – nitrógeno de fibra, multiplicado por porcentaje de fibra en la mezcla.

Carbono 3 = relación carbono – nitrógeno de lodo, multiplicado por porcentaje de lodo en la mezcla.

2.1. Localización

La presente propuesta tecnológica se realizó para la extractora Teobroma localizada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón La Concordia, en el Kilómetro 34 de la vía Santo Domingo – Esmeraldas.

Tabla 4. Ubicación de las coordenadas geográficas

Coordenadas geográficas		
Puntos	X (ESTE)	Y (NORTE)
1	683808	9995420
2	683703	9994649
3	683643	9994361
4	683484	9994454

2.2. Metodología

Proceso de extracción del aceite de palma

La planta industrial para la extracción del aceite rojo de palma cuenta con el siguiente proceso, como se muestra en la (Fig. 5).

Recepción de fruta

Esterilización

Desfrutamiento

Digestión

Prensado

Clarificación

Secado

Almacenamiento y despacho

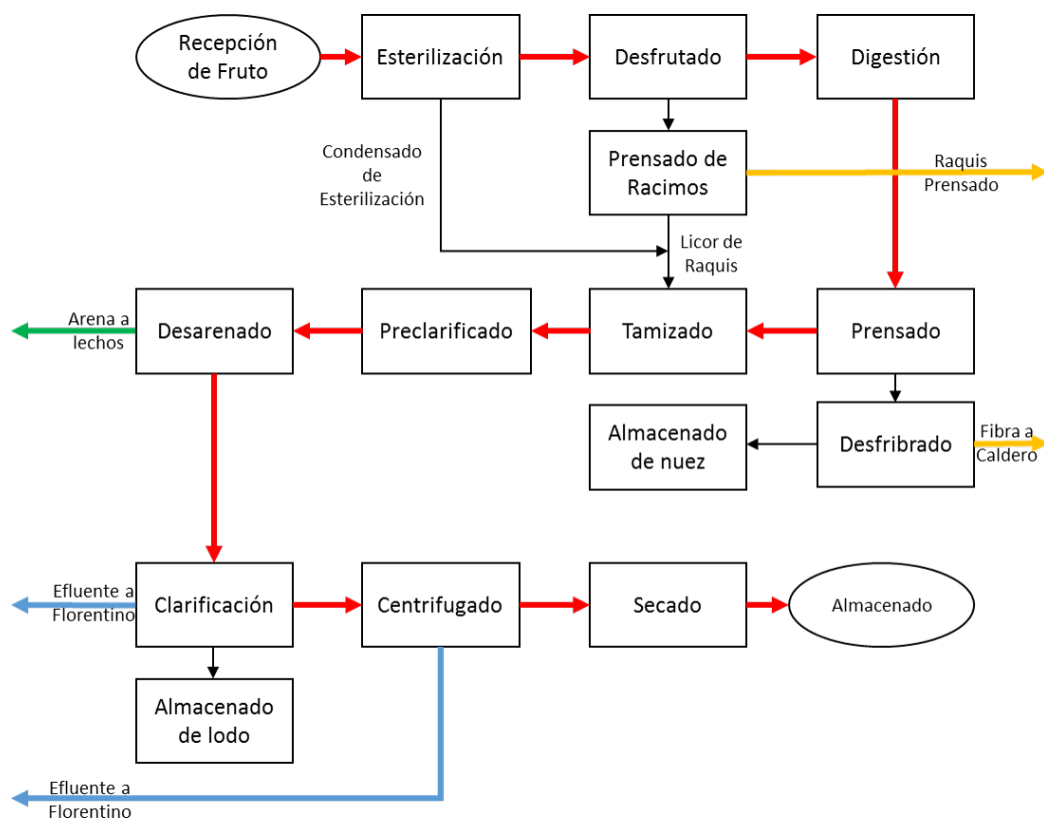


Fig. 5. Proceso de extracción del aceite rojo de palma en la extractora Teobroma, con sus respectivos residuos.

Fuente: Teobroma, 2017.

Recepción de fruto

Al llegar los racimos de fruta fresca a las instalaciones de la planta son pesados en una báscula de 9 m x 3 m con una capacidad de 50 t.

Los racimos son descargados en una plataforma de recibo, donde se realiza un control de la calidad de la fruta.

Esterilización

En este proceso se utilizan cuatro autoclaves cilíndricas verticales, cada una con una capacidad para cuatro toneladas de fruta. El tiempo de esterilización es de 90 minutos, lo que se consigue es el ablandamiento del fruto, para facilitar la separación, extracción del aceite y desprendimiento de la almendra. Durante esta etapa se desprenden los primeros efluentes, que contienen aceite, materia orgánica, impurezas y son

transportados por canales a los tanques florentinos, para la recuperación del aceite en forma automática.

Desfrutamiento

Proceso en el que se utiliza un tambor cilíndrico de dos metros de diámetro y seis metros de longitud, girando a 23 revoluciones por minuto en donde se separa el fruto del raquis. El fruto pasa a los digestores mediante un tornillo sinfín. El raquis es llevado en bandas transportadoras al sitio de almacenamiento temporal, posteriormente es trasladado a cultivos de proveedores.

Digestión y Prensado

La extractora Teobroma cuenta con tres digestores, con capacidades de 3 toneladas, 2 toneladas y 1,3 toneladas, en este proceso los frutos son macerados hasta la formación de una masa homogénea blanda para extraer el aceite mediante prensas que separan la torta (compuesto de fibra, cuesco y nueces) y el aceite crudo. El aceite crudo pasa por bombeo al proceso de decantación y clarificación. La torta pasa a desfibración donde se separan las nueces que van a un proceso de secado en un silo y son llevadas a la planta de palmistería. La fibra pasa a ser utilizada como combustible de la caldera que genera vapor de agua que necesita la planta.

Para el prensado se cuenta con tres prensas con capacidad de 3, 6 y 9 toneladas de fruta por hora.

Clarificación y Secado

Este proceso se realiza en un tanque estático de 24 m³ de capacidad, durante y ayuda a la separación del 90 % del aceite de la mezcla líquida de agua, aceite y lodo que proviene de las prensas por diferencia de densidades. El tiempo de residencia es de cuatro horas para pasar a la clarificación dinámica por centrifugación donde se recupera el 9 % y tracción restante.

Al salir el aceite de clarificación pasa al secado para disminuir humedad, por calentamiento en un tanque inicialmente para luego pasar a un sistema de secamiento al vacío.

Almacenamiento

El aceite es llevado a los tanques de almacenamiento posterior a los controles de calidad en el laboratorio. Para el almacenamiento Teobroma cuenta con dos tanques grandes y dos pequeños. Esta área cuenta con un cubeto para la retención de derrames.

Identificación de los desechos sólidos orgánicos

Los desechos sólidos orgánicos durante el proceso de extracción del aceite rojo de palma son: raquis o racimos vacíos, fibra, torta o lodo de tricanter.

Raquis

El raquis es generado en las prensas y tiene un lugar de almacenamiento temporal hasta ser trasladado en volquetas a las fincas de los proveedores para su disposición en los cultivos de palma, y de tal manera con la descomposición del raquis los nutrientes sean liberados en el suelo y aprovechado por el cultivo. El promedio de generación semanal es de 326,44 t en verano y 430,03 t en invierno. Durante los meses de julio a diciembre de 2016 correspondientes a la estación de verano se generó un total de 10 119,70 t de raquis, con la llegada de las lluvias para los meses de invierno, la producción aumenta y el total de generación de raquis aumentó durante los meses de enero – junio 2017 a 12 040,76 t (Tabla 5 y 6).

El raquis tiene un total de generación trimestral durante los meses de verano de 5 163,64 t y 5 163,49 t en invierno. (Tabla 5 y 6).

Lodo de tricanter

El lodo de tricanter es actualmente vendido para ganadería a proveedores en un valor de 17.00 \$ la tonelada. Tiene un promedio de generación semanal de 79,27 t en verano y 91,75 t en invierno, en los últimos meses el total de generación durante los meses de verano es de 2 457,30 t, mientras que en los meses de invierno tuvo un total de generación de 2 569,03 t, como se muestra en la (Tabla 5 y 6).

El total de generación trimestral de lodo de tricanter en invierno es de 1 117,72 t y en verano de 1 289,53 t. (Tabla 5 y 6).

Fibra

La generación total de este residuo es en un promedio de 470,49 t por semana en invierno y 344,44 t en verano. El total de generación semestral (meses de verano) es de 10 677,71 t y 13 173,83 t para la generación semestral (meses de invierno), como se muestra en la (Tabla 5 y 6).

El total de generación trimestral de fibra es de 5 264,99 t en verano y 5 513,26 t en invierno (Tabla 5 y 6).

La fibra del fruto es utilizada en un 70 % en las calderas y el 30 % restante es llevado con el raquis a las fincas de proveedores, debido a la actual gestión de la fibra en la caldera, se disminuye la cantidad de este residuo (Tabla 7 y 8), quedando como desecho de fibra durante los meses de verano un promedio semanal de 103,332 t, un total trimestral de 1 579,497 t y un total semestral de 3 203,313 t. Mientras que durante los meses de invierno queda como desecho un promedio semanal de 141,147 t, un total trimestral de 1 653,978 t y un total semestral de 3 952,149 t.

Tabla 5. Generación de desechos sólidos orgánicos en verano. Julio – diciembre 2016.

Residuos	Promedio de generación semanal (t)	Total de generación trimestral (t)	Total de generación semestral (t)
Raquis	326,44	5 163,64	10 119,7
Fibra	344,44	5 264,99	10 677,71
Lodo de tricanter	79,27	1 289,53	2 457,3
Total	750,15	11 718,16	23 254,71

Tabla 6. Generación de desechos sólidos orgánicos en invierno. Enero – junio 2017.

Residuos	Promedio de generación semanal (t)	Total de generación trimestral (t)	Total de generación semestral (t)
Raquis	430,03	5 163,49	12 040,76
Fibra	470,49	5 513,26	13 173,83
Lodo de tricanter	91,75	1 117,72	2 569,03
Total	992,27	11 794,46	27 783,62

Tabla 7. Manejo de la generación de fibra. Julio – diciembre 2016.

Fibra	Promedio de generación semanal (t)	Total de generación trimestral (t)	Total de generación semestral (t)
Generación total	344,44	5 264,99	10 677,71
Uso en caldera	241,108	3 685,493	7 474,397
Desecho	103,332	1 579,497	3 203,313

Tabla 8. Manejo de la generación de fibra. Enero – junio 2017.

Fibra	Promedio generación semanal (t)	Total de generación trimestral (t)	Total de generación semestral (t)
Generación total	470,49	5 513,26	13 173,83
Uso en caldera	329,343	3 859,282	9 221,681
Desecho	141,147	1 653,978	3 952,149

2.3. Parámetros de evaluación

Toma de muestras y resultado de análisis de laboratorio

Se tomaron muestras de los desechos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo de tricanter) en sus respectivos puntos de generación para ser analizadas en laboratorio en donde se determinó la relación carbono – nitrógeno (Tabla 9).

Tabla 9. Relación carbono/nitrógeno

Residuos	Relación C/N
Raquis de palma	38,58 / 0,9
Fibra del fruto de palma	38,58 / 1,4
Lodo de tricanter	38,17 / 1,9

Cálculo de la relación carbono – nitrógeno

Relación carbono nitrógeno pila número 1.

Los datos de generación de los residuos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo) corresponden al promedio de generación de desechos a compostar por semana durante los meses de verano julio – diciembre del 2016 (Tabla 5), considerando que la fibra se utiliza en un 70 % en la caldera, se tomó el dato del 30 % restante de fibra, considerado desecho (Tabla 7) más la relación carbono/nitrógeno de los análisis de laboratorio (Tabla 9), obteniendo una relación carbono/nitrógeno de 36,206.

$(\text{Carbono } 1 * \% 1) + (\text{Carbono } 2 * \% 2) + (\text{Carbono } 3 * \% 3) + \dots$ (Schuldt, 2008).

$(\text{Relación C:N raquis} * \% \text{ raquis a compostar}) + (\text{Relación C:N fibra} * \% \text{ fibra a compostar}) + (\text{Relación C:N lodo} * \% \text{ lodo a compostar})$

$(42,867 * 0,641) + (27,557 * 0,203) + (20,089 * 0,156)$

$27,478 + 5,594 + 3,134$

36,206.

Relación carbono nitrógeno pila número 2.

La pila número 2 representa la relación carbono/nitrógeno para los meses de invierno, desde enero hasta junio del 2017, se utilizaron los datos del promedio de generación semanal de los residuos sólidos orgánicos (raquis y lodo de tricanter) (Tabla 6) y se tomó el dato de desecho de fibra de la (Tabla 8). Para este caso también se consideró la relación carbono/nitrógeno de los análisis de laboratorio (Tabla 9) y se obtuvo la relación C:N de 36,463.

$(\text{Carbono } 1 * \% 1) + (\text{Carbono } 2 * \% 2) + (\text{Carbono } 3 * \% 3) + \dots$

$(\text{Relación C:N raquis} * \% \text{ raquis a compostar}) + (\text{Relación C:N fibra} * \% \text{ fibra a compostar}) + (\text{Relación C:N lodo} * \% \text{ lodo a compostar})$

$(42,867 * 0,649) + (27,557 * 0,213) + (20,089 * 0,138)$

$$27,821 + 5,870 + 2,772$$

36,463.

3. RESULTADOS

Diagnóstico

La extracción del aceite es el uso principal de la palma aceitera, considerado un cultivo de alta rentabilidad en algunos países entre ellos Ecuador, ocupando el segundo lugar en la producción de aceite en América y aporta con el 0,9 % de la producción mundial (Varela, 2012). Sin embargo, la extracción del aceite genera elevadas cantidades de desechos, considerándose el 55 % de desechos por cada racimo de palma procesado (Tolagasí, 2013).

Los racimos vacíos generados como subproductos pueden ser tratados de diferentes maneras; uno de ellos es la disposición en el campo y paralelamente al proceso de descomposición libere nutrientes al suelo, otras alternativas son la acumulación de los mismos en centros de acopio y el compostaje (Galindo & Romero, 2012).

La acumulación de los racimos vacíos en centros de acopios genera impactos ambientales negativos, debido a que facilita la anidación de animales peligrosos y plagas, como, ratas, moscas y serpientes. También se contaminan las aguas subterráneas por la generación de lixiviados (Galindo & Romero, 2012). Las elevadas cantidades producidas de raquis requieren de grandes espacios para su almacenamiento, lo que hace que termine en ríos y quebradas, aunque es utilizado para la caldera como combustible. También se lo aplica en algunas plantaciones de palma, disponiéndolo en las coronas, para que su descomposición se incorpore en el suelo, durante un proceso de 8 a 14 meses, sin embargo, no debería ser aplicado, pues la materia vegetal en descomposición genera elevadas temperaturas que ocasiona daños al suelo y flora microbiana (Castañeda, 2012).

Palmeras del Ecuador es una extractora nacional con una producción de aceite elevada, pues tiene sembradas alrededor de 14 mil ha de palma, debido a ello genera también una gran cantidad de desechos en la planta extractora. Esta empresa tomo la iniciativa de crear una planta de compostaje usando los subproductos, raquis, lodos de extracción y fibras, de esta manera se obtiene un producto orgánico y ganancias de la venta (Maldonado & Puebla, 2014) (Echeverría, 2014).

Según Stichnothe y Schuchardt (2010) en una investigación realizada de las alternativas del manejo a los subproductos de la extracción del aceite de palma, las más ideales ambientalmente fueron: compostaje de racimos vacíos y efluentes y la producción de biogás y compostaje de racimos vacíos y efluentes (Tabla 10).

Tabla 10. Potencial de calentamiento global de cuatro alternativas de uso de subproductos de la agroindustria de palma aceitera.

Alternativa	CO ₂ eq*t-1 RFF
Acumular tusa y efluentes en piscinas	245
Disponer tusa en plato y acumular en piscinas	125
Compostaje de RV y efluentes	7,4
Producción de biogás y compostaje de RV y efluentes	6,2

Fuente: Stichnothe y Schuchardt (2010).

Las plantas extractoras de aceite rojo de palma con capacidad de producción elevada a 160 000 t RFF/año y 20 t/h de RFF, justifican la ejecución de un programa de reciclaje y manejo tecnificado, debido a la gran cantidad de residuos generados (Miranda *et al*, 2007), por lo que para las plantas con menor capacidad de procesamiento no es rentable el manejo de los residuos mediante la actividad de compostaje (Galindo & Romero, 2012).

Actualmente la extractora Teobroma tiene una capacidad de producción de 30 t/h RFF y un promedio de 150 000 t/año con una gestión de sus desechos sólidos orgánicos: raquis, fibra y lodo de la siguiente manera:

El lodo de tricanter con un promedio de generación semanal de 79,27 t en verano y 91,75 t en invierno es actualmente vendido a los proveedores a un valor de 17,00 \$ la tonelada.

El raquis después de su generación es almacenado temporalmente hasta ser trasladado a las fincas de los proveedores para disponerlos en los cultivos y de tal manera los nutrientes del raquis sean liberados a través de su descomposición al suelo y aprovechados por el cultivo de palma. Este desecho se genera en un promedio semanal de 326,44 t en verano y 430,03 t en invierno.

La fibra que se genera en un promedio de 470,49 t semanal durante invierno y un promedio de 344,44 t semanal en verano es utilizada en un 70 % para la caldera y el 30 % restante se almacena en un patio de almacenamiento temporal hasta ser trasladado con el raquis en volquetas a fincas de los proveedores para su disposición en los cultivos.

El transporte del raquis y fibra genera pérdidas de tiempo y dinero a la empresa, además de la contaminación atmosférica generada por el transporte. El costo del transporte de raquis y fibra a las fincas de proveedores tiene un costo de \$ 1,50 la tonelada, la generación promedio semanal de desechos transportados durante el verano es de 429,772 t y en invierno de 571,177 t, por lo tanto el promedio del costo semanal por el transporte de los desechos en verano es de \$ 644,65 y en invierno de \$ 856,77. El promedio del costo mensual para invierno y verano es de \$ 2 578,60 y \$ 3 427,08 respectivamente, con un costo anual aproximado de \$ 36 034,08 por el transporte. Estos desechos son ricos en nutrientes que podrían ser aprovechados mediante el compostaje, técnica viable debido a la relación carbono/nitrógeno entre los desechos, que se ajusta a 36,206 dentro del rango ideal para la elaboración de compost.

Propuesta Tecnológica

Diseño de la planta de compostaje

Compostaje en camas o pilas de volteo

El sistema seleccionado de compostaje para la presente propuesta es un sistema abierto, en hileras o pilas de volteo abierto, considerando un volteo mecánico, con la ayuda de un tractor y una máquina de volteo.

Operación de la actividad de compostaje

Transporte de los desechos hasta la planta de compostaje

Se requiere de una carreta de volteo hidráulica y un tractor para el transporte de los desechos desde la planta extractora hasta la planta de compostaje, donde son depositados en forma de líneas sobre las camas (Torres *et al*, 2004).

Aplicación de microorganismos

Se propone la utilización de microorganismos eficientes (E.M.) que se adquieren comercialmente, cuya aplicación dependerá del laboratorio que lo comercialice. Según (Uribe *et al*, 2016) para la producción de abono orgánico a partir del estiércol de ave de jaula con la aplicación de microorganismos eficientes (E.M.) añadieron 20 L de solución de EM; cuya solución contuvo 4 L de E.M. activado y 16 litros de agua. Esta solución fue aplicada con mochila de espalda en la primera semana y cada dos días realizaron volteos. 1:100 fue la proporción de mezcla del E.M. con la gallinaza.

Según la empresa Ambiem Ltda. (2017) la dosis ideal de aplicación de EM activado es entre 0,5 L y 1 L por tonelada o m³ de material a compostar, el EM activado se diluye en aproximadamente 18 L de agua y se pulveriza sobre los desechos a compostar.

Riego y volteo

Esta etapa se realiza con la ayuda del tractor, el equipo de volteo y el sistema de bombas. La volteadora ayuda al humedecimiento homogéneo de los desechos. Al término del proceso se coloca sobre las camas una lona, este proceso dependerá de las condiciones climáticas, para una pila es suficiente regar y voltear 2 veces a la semana, y se obtiene a las 12 semanas un compost de calidad (Torres *et al*, 2004).

El sistema de riego propuesto para la empresa es un sistema manual, con el uso de una bomba y manguera, donde se utilice el agua de las piscinas de oxidación ricas en nutrientes y con presencia de microorganismos, que ayudarán a la aceleración del proceso de compostaje.

Almacenamiento del compost

Según (Torres *et al*, 2004) para el almacenamiento previo al transporte del abono a las plantaciones optaron por un sistema manual en el que utilizaron soportes y ganchos para fibras para facilitar el llenado en sacos, dichas herramientas fueron construidas con materiales de construcción (Fig. 6). Inclusive llevaron un control aleatorio del peso de los sacos.



Fig. 6. Sistema manual para el llenado de compost en sacos, con la ayuda de soportes y ganchos para fibras.

Área de producción de compost

Para calcular el área de producción de compost, se requirió de los datos de generación de los desechos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo) por semana, debido a que una pila se formará con los desechos generados durante este periodo de tiempo, tomando como muestra el promedio de generación en una semana de 662 927 Kilogramos. Cada pila saldrá como compost terminado a los tres meses, por lo tanto, se necesitará espacio para de 12 pilas de compost.

Para determinar el espacio que se requiere para una pila fue necesario realizar los siguientes cálculos: 8 kg de los desechos sólidos orgánicos fueron necesarios para ocupar un volumen de 0,021 m³. Con los datos obtenidos se calculó la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{8 \text{ Kg}}{0,021 \text{ m}^3}$$

$$\text{Densidad} = 380,952 \text{ Kg/m}^3$$

Considerando que la densidad es de 380,952 Kg/m³ y que se producen en promedio 662 927 Kg de desechos a compostar por semana durante los meses de invierno, que

son los meses de mayor producción de palma y por ende de aceite, el volumen sería el siguiente:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$$
$$\text{Volumen} = \frac{662\,927 \text{ Kg}}{380,95 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen} = 1\,740,194 \text{ m}^3$$

La profundidad será de 1 m para facilitar el volteo de las pilas, sabiendo que el volumen es de $1\,740,194 \text{ m}^3$, el área se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Área} = \frac{\text{volumen}}{\text{profundidad}}$$
$$\text{Área} = \frac{1\,740,194 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$$
$$\text{Área} = 1\,740,194 \text{ m}^2$$

El área se distribuirá de la siguiente manera, se considera un ancho de 8 metros para cada pila, de tal manera que facilite el trabajo de volteo. Sabiendo que el área es de $1\,740,194 \text{ m}^2$, la longitud de cada pila será:

$$\text{Longitud} = \frac{\text{área}}{\text{ancho}}$$
$$\text{Longitud} = \frac{1\,740,194 \text{ m}^2}{8 \text{ m}}$$
$$\text{Longitud} = 217,524 \text{ m}$$

Cada pila con el área de $1\,740,194 \text{ m}^2$, por 12 pilas que necesita para compostar los desechos, se necesitaría un área de $20\,882,328 \text{ m}^2$ para el total de las pilas.

Hay que considerar que se necesita de espacio entre las pilas para el paso de maquinaria y canaletas recolectoras de lixiviados.

Las canaletas tendrán 0,5 metros de ancho por 12 canaletas que se necesitan (una para cada pila), ocuparían un ancho de 6 metros, que al multiplicar por el largo que será igual al de las pilas 217, 524 metros, obtenemos un área de 1 305, 144 m² para las canaletas.

El camino para el paso de maquinaria entra las pilas será de 2,5 m cada uno, por 11 caminos en total, el ancho será de 27,5 m; los 27,5 m de ancho por la longitud que es de 217,524 m, el área total de los caminos será de 5 981,91 m². Por lo tanto, al sumar el área total de las pilas 20 882,328 m², más el área total de las canaletas de 1 305,144 m² y más el área total de los caminos entre las pilas 5 981,91 m², se obtiene un área total de 28 169,382 m².

Alrededor del conjunto de las 12 pilas también se necesita espacio para el paso de maquinaria y tuberías para riego, el espacio que se dio es el siguiente:

A los costados, izquierda y derecha = 8 metros

En la parte frontal y trasera = 16 metros

Obteniendo la siguiente área:

$$\text{Área total de costados} = \{217,524 \text{ m} + (16 * 2) 8\} 2$$

$$\text{Área total de costados} = 947,048 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total delantera y trasera} = (16 * 129.5 \text{ m}) 2$$

$$\text{Área total delantera y trasera} = 4 144 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total del contorno} = 5 947,048 \text{ m}^2 + 4 144 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total del contorno} = 5 091,048 \text{ m}^2$$

Por lo tanto al sumar el área necesaria para las pilas con las canaletas y caminos de 28 169,382 m², más el área calculada del contorno 5 091,048 m², el área total para la actividad de compostaje sería de 33 260,430 m²

Hay que considerar que el compost terminado deber ser ensacado y almacenado hasta ser trasladada a su disposición final como abono en los cultivos. Para ello se realizaron los siguientes cálculos:

Sabiendo que una pila sale por semana y cada pila contiene 662 927 Kg y cada saco tendrá una capacidad de 35 Kg de compost, necesitaríamos 18 941sacos, como se muestra en la fórmula a continuación:

Materia total = 662 927 Kg

Materia prima por saco = 35 Kg

$$\text{Número de sacos} = \frac{662\,927\text{ kg}}{35\text{ kg}} = 18\,941\text{ sacos}$$

Los sacos deben ser almacenados en la bodega en pallets, para lo cual se calculó lo siguiente:

Datos:

Número de sacos por pallet = 50 sacos

Peso por cada saco = 35 Kg

Peso por pallet:

Peso por pallet = Número de sacos * peso de cada saco

Peso por pallet = 50 * 35 Kg de compost = 1 750 Kg

Número de pallets total:

$$\text{Número de pallets total} = \frac{\text{peso total}}{\text{peso por pallet}}$$

$$\text{Número de pallets total} = \frac{662\,927\text{ Kg}}{1\,750\text{ Kg}}$$

Número de pallets total = 379 pallets

Producción diaria por persona y número de personas:

Datos:

Según (Torres *et al*, 2004) una persona tiene la capacidad de trabajar 8 horas diarias ensacando 150 sacos de compost. Por lo tanto, al tomar en cuenta este dato y los 35 Kg que se almacenarán en cada saco, una persona por día ensacará 5 250 Kg de compost.

Cada pila de desechos al terminar su proceso de compostaje a los tres meses, deberá ser ensacada y almacenada en bodega, por lo tanto al considerar el promedio de desechos compostados por pila de 662 927 Kg que deben ser almacenados en bodega durante 5 días, se necesitara almacenar diario 132 585,4 Kg de compost. Con los datos obtenidos se calcula a continuación el número de personas requeridas para el almacenamiento del compost:

$$\text{Número de personas por día} = \frac{\text{peso total por día}}{\text{capacidad de cada persona diaria}}$$

$$\text{Número de personas por día} = \frac{132\,585,4 \text{ Kg}}{5\,250 \text{ Kg}}$$

$$\text{Número de personas por día} = 25,25 \text{ personas}$$

$$\text{Número de personas por día} = 26 \text{ personas}$$

Si al necesitarse 26 personas diarias para el almacenamiento del compost, para los 5 días de trabajo se requeriría de 130,00 jornales.

$$\text{Número de saco por persona} = \frac{\text{cantidad que puede trabajar una persona}}{\text{peso de cada saco}}$$

$$\text{Número de sacos por persona} = \frac{5\,250 \text{ Kg}}{35 \text{ Kg}}$$

$$\text{Número de sacos por persona} = 150 \text{ sacos}$$

Área total de la bodega

Datos:

Total de pallets a lo largo = 80 pallets

Número de filas = 5 filas

$$A = \sum \text{longitudes parciales a lo ancho}$$

A = 0,20 m espacio entre la pared y el pallet lateral izquierdo + 1,0 m tamaño del pallet (5 número de filas) + 1,5 m ancho del camino (4 número de caminos) + 0,20 m espacio entre la pared y el pallet lateral derecho = 11,4 metros (5 FILAS)

$$L = \sum \text{longitudes parciales a lo largo}$$

$L = 1,20 \text{ m}$ medida del largo del pallet (80 pallets) + $0,30 \text{ m}$ espacio entre pallets (80 espacios) + 2 m espacio delantero de la bodega + $0,20 \text{ m}$ espacio entre pallet y parte trasera de la bodega = $122,2 \text{ metros}$ (ENTRAN 80 PALLETS DE LARGO)

Área total de la bodega = ancho x largo

Área total de la bodega = $11,4 \text{ m} \times 122,20 \text{ m}$

Área total de la bodega = $1\,393,08 \text{ m}^2$

También se consideró un área total para el almacenamiento de maquinaria y herramientas de trabajo de 220 m^2 , además de un área para las oficinas de 275 m^2 .

Considerando las áreas anteriormente calculadas, almacenamiento de maquinaria, oficinas, bodega para sacos de compost, pilas, canaletas, caminos para el paso de maquinaria y el contorno, se necesitaría de un área total para la actividad de compostaje de $35\,148,510 \text{ m}^2$ o $3,51 \text{ ha}$.

A continuación, se presenta el diseño para la planta de compostaje, realizado en el programa Autocad a una escala de 1:1.

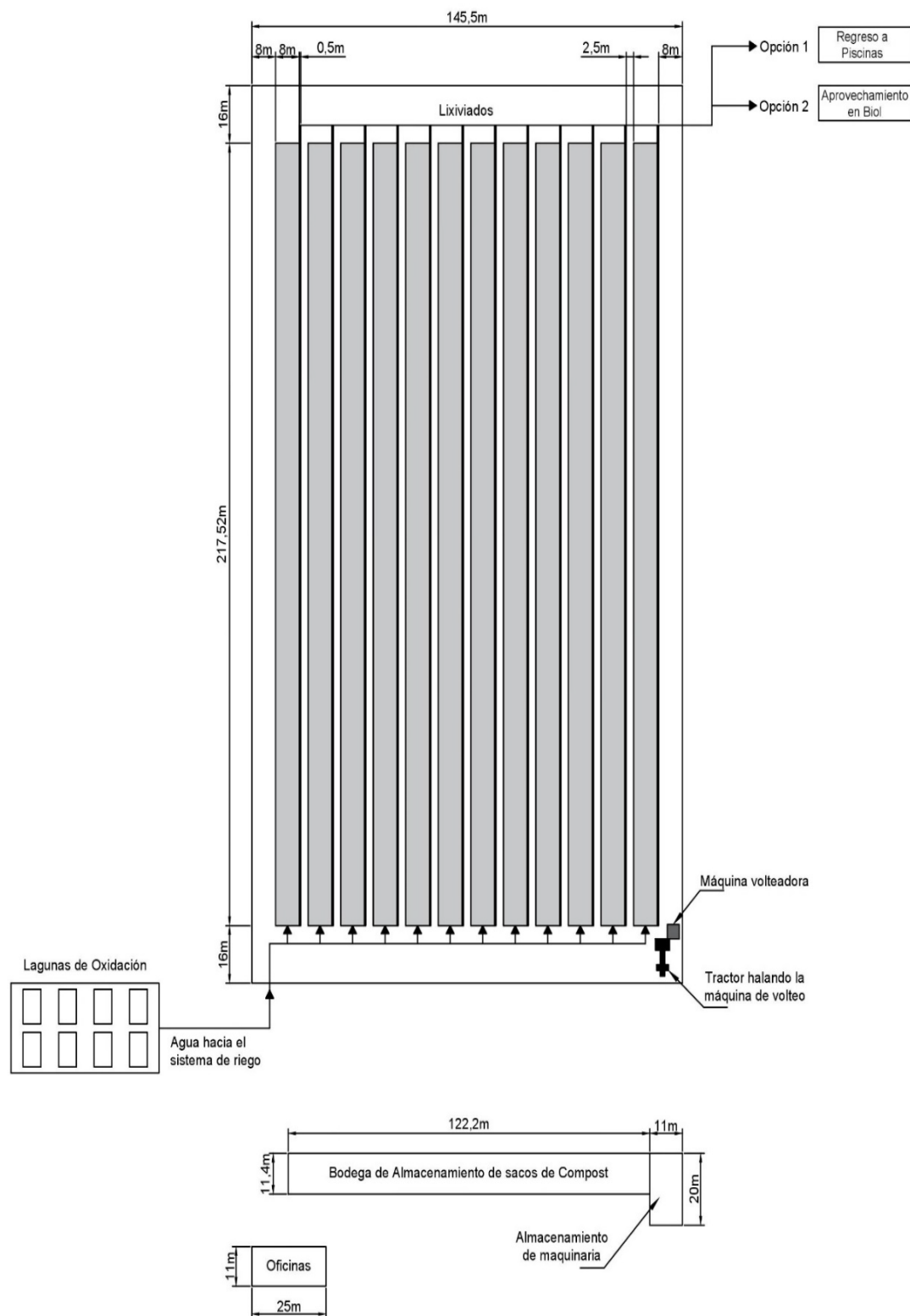


Fig. 7. Diseño de la planta de compostaje con los desechos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo de tricanter).

Análisis económico

Los costos de construcción, operación y mantenimiento para la presente propuesta se detallan a continuación, tomando en cuenta que la extractora no cuenta con el área requerida según el resultado de los cálculos, estos podrían variar según el terreno que se adquiriera, en tal caso de ejecutarse el presente trabajo.

Costos de construcción

La ejecución de planta de compostaje requiere de diversas máquinas y herramientas de costos elevados como se demuestra en la (Tabla 11).

Tabla 11. Inversión inicial en construcción.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
Compra de terreno	4 ha	13 000,00	52 000,00
Obra civil	1	12 000,00	12 000,00
Materiales de construcción		40 000,00	40 000,00
Volteadora	1	7 000,00	7 000,00
Tractor	1	20 000,00	20 000,00
Pala hidráulica	1	4 000,00	4 000,00
Plástico para compost	12	879,10	10 441,15
Sacos	18 941	0,03	568,23
Bomba	1	450,00	450,00
TOTAL			146 459,38

Costos de operación

La presente propuesta requiere del aporte del talento humano para su ejecución, como se demuestra en la (Tabla 12), a la vez genera el pago de servicios básicos detallados en la (Tabla 13).

Tabla 12. Inversión en contrato de personal

Descripción	Cantidad	Salario unitario (\$)	Salario total (\$)	Salario anual (\$)
Director	1	600,00	600,00	7 200,00
Secretario/a	1	400,00	400,00	4 800,00
Operarios	26	386,00	10 036,00	124 800,00
Guardia	2	400,00	800,00	9 600,00
TOTALES				146 400,00

Tabla 13. Pago por servicios básicos.

servicios básicos		
	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Electricidad	50,00	600,00
Internet	25,00	300,00
Agua	80,00	960,00
Teléfono	12,00	144,00
TOTALES	167,00	2 004,00

Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento serán acordes a las necesidades, cuidados y tratamiento que necesite cada maquinaria, equipos, herramientas y materiales de oficina, se da un valor aproximado para estos en la (Tabla 14).

Tabla 14. Costos de mantenimiento para las instalaciones de la planta de compostaje.

Costos de mantenimiento	
Detalle	Costo anual (\$)
Maquinaria y equipos	2 000,00
Instalaciones	800,00
Equipos de oficina	200,00
TOTAL	3 000,00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La extractora de aceite de palma Teobroma genera una gran cantidad de residuos sólidos orgánicos (raquis, fibra y lodo de tricanter) como parte de su proceso productivo, estos poseen variados nutrientes que podrían ser aprovechados mediante el compostaje y de esta manera devolver los nutrientes al suelo, contrarrestando la erosión provocada por el cultivo de palma.

Actualmente los racimos vacíos de palma son llevados a las fincas de los proveedores para su disposición en el cultivo, sin embargo, estos no han pasado por un proceso técnico de mineralización, entonces su aporte de los nutrientes al suelo sería muy prolongado de 8 a 14 meses, además las elevadas temperaturas generadas por el raquis en descomposición provocarían daños a la flora microbiana del suelo.

La relación carbono/nitrógeno de 36,2 entre el raquis, fibra y lodo de tricanter está dentro del rango óptimo para la elaboración de compost, sin embargo, se podría añadir material rico en nitrógeno como los lodos de las piscinas de oxidación o el efluente, estiércol bobino, estiércol porcino, pollinaza, entre otros, y de esta manera reducir aún más su relación y acelerar el proceso de descomposición.

Actualmente Teobroma no cuenta con el terreno necesario de 4 ha para la ejecución de la planta de compostaje, este terreno debe ser adquirido cercano a la planta extractora para evitar la movilización lejana de los desechos como se hace actualmente, además del aprovechamiento para riego con el agua de las lagunas de oxidación de los efluentes.

REFERENCIAS

- AMBIEM Ltda. (20 de Diciembre de 2017). Ambiem Ltda. Obtenido de Ambiem Ltda.:http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/uso_de_em_en_compostaje.pdf
- ANCUPA (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana) y Fundación de fomento de exportadores de aceite de palma y sus derivador de origen nacional, 2006, “Plantas jóvenes, aceites vegetales”, Palmicultores del Ecuador, p. 26.
- APROLAB. (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Lima: Pase.
- Arellano, J. (2017). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ENTRE PROYECTOS SOBRE EXTRACTORAS DE PALMA AFRICANA. Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa (Vol. II, No. 1, 2017), 31-38.
- Arévalo, L. Degradación de residuos de cosecha de caña de azúcar.[en línea]. Cali-Colombia Biblioteca Digital del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar de Colombia, 2002. [Consulta: 04 noviembre 2017].
- Castañeda Larco, E. R. (2012). Obtencion de compost utilizando raquis, fibra, y lodos de extractoras de aceite de palma africana (*Elaeis Guineensis* Jacq), empleado microorganismos eficientes (EM) (Bachelor's thesis).
- Costa, F., García, C., Hernández, T. & Polo, A. 1991. Residuos orgánicos urbanos: Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, España, 181 pp. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/ipra/Compostaje_Pescador.pdf
- Echeverria, A. (20 de Abril de 2014). PDE, Introducción. (J. Espinosa, Entrevistador)
- ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua), 2016, “Presentación Principales Resultados”, p.20.
- Espinoza, J. (2014) “Caracterización y mejoramiento del compost de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis*) de palmeras del Ecuador, campamento Shushufindi, 2014”. (Tesis de Ingeniería en Biotecnología, Universidad Internacional SEK) Recuperado de: <http://repositorio.uisek.edu.ec/123456789/1804>
- FEDEPALMA Y Ministerio del Medio Ambiente, 2002, “Porque es importante la materia orgánica en el suelo”, Guía ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite, p.9.

- Feijoo, G. (20 de Mayo de 2014). Proceso de Extracción de aceite de palma PDE. (E. Jorge, Entrevistador)
- Galindo, T., & Romero, H. (2012). fedepalma.org. Obtenido de fedepalma.org: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/viewFile/10642/10629>
- Hashim R., Guan Seng T., & Tanaka R., 2011, "Characterizacion of raw materials and manufactured binderless particleboard from oil palm biomass", *Materials and Design*, 32 (1), 246.
- Higa, T., & Parr, J. (2010). Manual de uso de EM microorganismos benéficos y eficaces. Maryland, EE.UU.
- Higa, T. & Parr, J. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment.[en línea], (Japan). International Nature Farming Research Center, 1993.
- Miranda, H Schuchardt, F. Wulfert, k. Tjahjono, D. 2007. Manejo sostenible de efluentes y RV en plantas de beneficio de palma de aceite mediante un nuevo proceso. *Revista Palmas*. Vol. 28 Ed. Especial Tomo II. P. 191-198.
- Maldonado, F., & Puebla, A. (2014). Top 1000 empresas del Ecuador. *Ekos*, 37-50.
- Moreno, J. & Mormeneo, S. (2007) *Compostaje: Factores que afectan el proceso de compostaje* Madrid: Ediciones mundi-Prensa, pp. 95-104.
- Palíz, D. (2014) Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos. (Tesis de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Politécnica Nacional de Chimborazo) Recuperado de: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4066/1/236T0128%20UDC TFC.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4066/1/236T0128%20UDC%20TFC.pdf)
- Peláez Carlos et al. (1999). Gallinaza: materia prima en proceso de compostación. En: *Revista Avicultores*. Colombia. Vol. 53, 1999; p.18– 32.
- Potter, L. (2011). La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores? *EUTOPIA*, 40.
- Rincón, S. M., & Martínez, D. M. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Revista Palmas*, 30(2), 11-24.
- Rojas, D. A. A. (2003). El proceso de compostaje (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile).
- Roman, P., Martínez, M. & Pantoja, A., (2013) *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- Romero Lima, M. R. L. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción sanidad y absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo. Tesis de M.C Colegio de Postgraduados, México.
- Ros, M., Ayuso, M., Miralles, J., Pascual, J., Morales, A. & Solera, C., (2012). Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de frutas y hortalizas: proyecto Life+ Agrowaste. Recuperado de:

<http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/03/agrowaste6.pdf>
- Suquilanda, M., 1996, "Agricultura orgánica", Fundación para el desarrollo agropecuario, p. 17.
- Schuldt, M. (2008). Manual de lombricultura.
- Stichnothe, H. & Schuchardt, F. 2010. Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. *Int J Life Cycle Assess* 15: 907–915.
- Terry, E., Leyva, A. & Hernández, A. "Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersion esculentum*, Mill)" *Revista Colombiana de Biotecnología*, [en línea], 2005 (Colombia) 7 (2), pp.47-54. [Consulta: 22 diciembre 2017]. ISSN: 1909-8758.
- Teobroma. (2017). Auditoría ambiental de cumplimiento para la planta extractora de aceite rojo de palma africana.
- Tolagasí, G. (2013). Producción de abono orgánico a partir de los subproductos de extracción de aceite de Palma Africana y su aplicación en cultivo de papa a escala de laboratorio (Bachelor's thesis, Quito, 2013.).
- Torres, R., Acosta, Á., & Chinchilla, C. (2004). Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Revista Palmas*, 25(especial,), 377-387.
- Uribe, J. F., Estrada, M. M., Córdoba, S., Hernández, L. E., & Bedoya, D. M. (2016). Evaluación de los microorganismos eficaces (EM) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14(2), 164-172.
- Varela, M. (2012). Elaboración de aceite de palma africana de exportación. Centro de investigaciones económicas de la micro, pequeña y mediana empresa del Ministerio de Industrias y competitividad., 89.