

Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de aceite de palma

Economic and financial evaluation of the alternatives of use of the residues of the raw material of an industrial plant of extraction of palm of oil

DOI: <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.22.5029>

Diana Cecilia Molina Crespo*
Roberto Anaya Aldana**

Resumen

Esta investigación presenta el análisis y evaluación económica y financiera y la relación costo-beneficio que tienen las plantas extractoras de palma de aceite en las alternativas de uso de los residuos de la materia prima. Los subproductos resultantes del proceso de la palma de aceite en las plantas de beneficio son considerados residuos y dejan de tener un valor o utilidad y pasan a ser un desecho. Estos desechos se pueden someter a un proceso de compostaje para convertirlos en fertilizantes orgánicos que son utilizados nuevamente en los cultivos de palma, con el fin de generar una mayor productividad, reducción en los costos de fertilización y contribución positiva al medio ambiente o, por otro lado, tratarlos mediante piscinas de oxidación.

Palabras claves: Plantas extractoras, residuos, raquis, efluentes, compostaje.

Abstract

This research presents the economic and financial analysis and evaluation, the cost-benefit ratio that palm oil extraction plants have in the alternatives for the use of raw material waste. Byproducts resulting from the palm oil process in the beneficiation plants are considered residue and no longer have a value or utility and become a waste. These wastes can be subjected to a composting process to convert them into organic fertilizers that could be used again in palm crops, in order to generate greater productivity, reduction in fertilization costs and positive contribution to the environment or, on the other hand, treat them through oxidation pools.

Keywords: Extraction, waste, rachis, effluents, composting.

¹ Artículo de investigación resultado del proyecto "Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de palma de aceite".

FECHA RECIBIDO: 20/febrero/2018. FECHA ACEPTADO: 25/abril/2018

* Asesora externa Departamento del Atlántico. dianaceciliamolnac@hotmail.com

** Grupo Agro-Industrial Hacienda La Gloria. Robertoanayaaldana@gmail.com

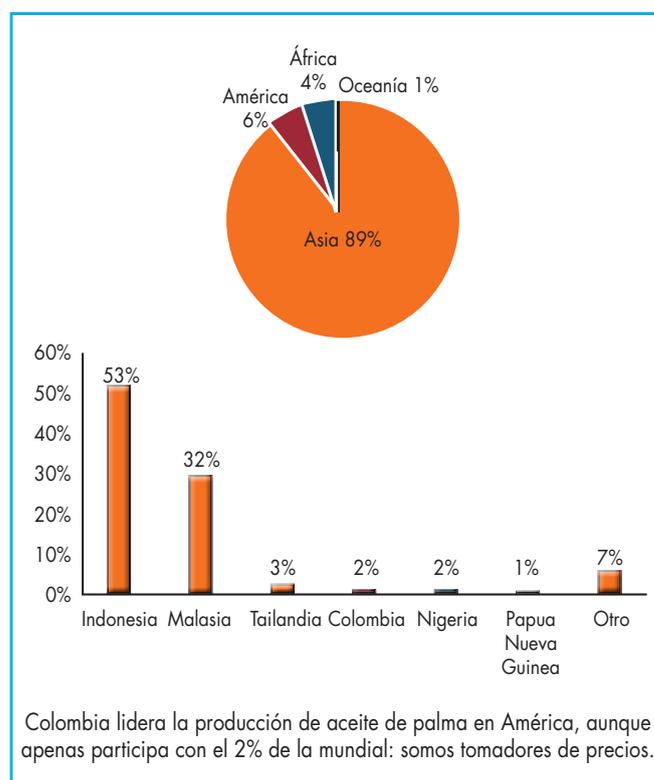
Como citar: Anaya Aldana, R., & Molina Crespo, D. (2018). *Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de palma de aceite*. *Dictamen Libre*, 1(22). <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.22.5029>

Introducción

La industria del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) ofrece una gran diversidad de usos del producto, como aceite de cocina, grasas especiales, sustitutos de grasas animales, margarinas, productos de aseo, jabones, detergentes, cosméticos, cremas dentales, velas, lubricantes, pinturas, biocombustibles y energía eléctrica, entre muchos otros.

La palma de aceite es el segundo tipo de aceite con mayor volumen de producción, después del aceite de soya, y es la más productiva del planeta; una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que las demás oleaginosas. Indonesia es el primer productor mundial de aceite de palma con una participación del 53 %. Colombia es el cuarto productor con una participación del 2 % y es el primero en América, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Distribución de la producción de aceite de palma por país



Fuente: Oil World, 2015

Según señala González (2016),

“En América la producción de aceite de palma ha sido liderada por Colombia, seguido de Ecuador, Honduras, Guatemala y Brasil, estos países aportan cerca del 84 % de la producción de América, de igual manera

se observa un crecimiento de la producción del 143,5 % en el período 2001–2014, cuyos incrementos más significativos se encuentran en países como Honduras, Guatemala y Brasil, lo que le ha permitido a la región mantener la cuota de participación en la producción de aceite de palma mundial” (González, 2016).

La Tabla 1 muestra la producción de aceite de palma en América:

Tabla 1. Producción de aceite de palma en miles de toneladas en América

País	2001	2014	Crecimiento %
Colombia	547,6	1.108,6	102,4
Ecuador	227,8	490,0	115,1
Honduras	130,0	460,0	253,8
Guatemala	70,1	448,0	539,1
Brasil	110,0	370,0	236,4
Costa Rica	149,9	210,0	40,1
Perú	37,0	105,0	183,8
México	34,0	83,0	144,1
Rep. Dominicana	26,0	47,0	80,8
Venezuela	52,0	47,0	-9,6
Panamá	11,8	33,0	179,7
Nicaragua	8,0	17,0	112,5
Total	1.404,2	3.418,6	143,5

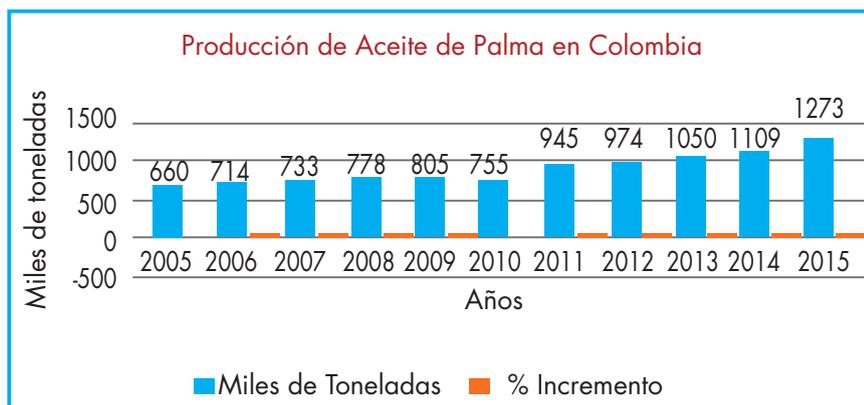
Fuente: elaboración propia.

El cultivo de la palma de aceite se ha expandido en Colombia desde la década de 1960. Según indica Fedepalma (2016) en su informe, en el año 2015 existían cerca de 465 985 hectáreas sembradas a nivel nacional. Estos cultivos de palmas de aceite tienen presencia en 20 departamentos de las 4 regiones, siendo la región oriental la de mayor sembrado con una participación del 40 %, seguida por la región central con 32 %, la región norte con el 27 % y la región suroccidental con el 4 %.

En cuanto a la producción de crudo, la región oriental ocupa también el primer lugar con una participación del 41 %, le sigue la región norte con el 29 %, la región central con el 28 % y la región suroccidental con el 2 %.

De acuerdo con Fedepalma, para el año 2015 la producción de aceite de palma en Colombia fue de 1 272 521 toneladas, revelando un incremento de la producción del 93 % con respecto al año 2005, que fue de 660 toneladas (Figura 2).

Figura 2. Incremento de la producción del aceite de palma



Fuente: (Datos tomados de Fedepalma)

Actualmente existen 64 plantas de beneficio a nivel nacional, que suman una capacidad instalada de 6049 toneladas de racimo de fruta fresca (RFF)/Hora, que están produciendo 1546 Ton RFF/Hora.

A medida que se incrementa la producción de racimos frescos en las plantas de beneficio, se incrementa también el volumen de desechos. Las extractoras están obligadas, por ley, a darles un tratamiento adecuado que permita una reducción en la contaminación ambiental, generada por la descomposición de estos residuos.

En Colombia, existe un amplio marco jurídico que regula el uso y vertimientos, concesión de agua y ocupación de causas, suelos, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, flora y fauna, ente otros factores que se deben considerar en el momento de desarrollar la actividad agrícola de la palma de aceite. El Decreto-Ley 2811 de 1974, el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, dio inicio al proceso de gestión ambiental en el país.

La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO por su sigla en inglés) ha establecido criterios para el manejo de estos subproductos que ayuden a mitigar el impacto ambiental negativo, evitar la degradación de los suelos asegurando el retorno de nutrientes al agroecosistema de la palma de aceite y que la palmicultura sea económicamente sostenible.

Marco de referencia

El manejo de los residuos producidos por las plantas extractoras de palmas de aceite se ha convertido en un asunto de gran importancia. A través de diversos estudios, muchos de plantas de benéficos, se ha llegado a la conclusión de que el manejo de los residuos por procesos de compostaje es la mejor alternativa porque beneficia al medio ambiente, por la disminución en la generación de CO₂.

Residuos del proceso de extracción

Los residuos sólidos constituyen el componente orgánico, cuyo procesamiento bajo ciertas condiciones técnicas, permite la obtención de compost, un abono orgánico con grandes beneficios para la agricultura (Jimeno, Mendoza y Pérez, 2012).

Para conocer los residuos del proceso de extracción, se debe conocer la composición promedio de un racimo de fruta fresca (RFF), que es el siguiente.

25 % aceite
 5,5 % almendra
 6 % cáscara
 9 % fibra
 25 % raquis o tusa prensada
 4,5 % efluentes

En Colombia, después del proceso de extracción de aceite de palma, se generan como residuos, aproximadamente, 20 kg de lodo seco de lechos de secado, 220 kg de racimos vacíos y de 0,8 a 1,0 m³ de efluente líquido (bio-abono) por cada tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) procesada. Estos efluentes tienen altos valores en DQO, demanda química de oxígeno (40 a 60.000 ppm), DBO, demanda bioquímica de oxígeno (20 a 40.000 ppm) y sólidos suspendidos (20 a 30.000 ppm). Además, son ácidos (pH de 4,0 a 4.5) y aceitosos (+/- 5.000 ppm) (Cortés, Cayón, Aguirre y Chaves, 2006).

Como se mencionó anteriormente, los principales subproductos o residuos generados por el proceso de extracción del aceite de palma son los racimos vacíos (raquis o tusa), lodo seco (cenizas) y las aguas lodosas (efluentes).

La Tabla 2 muestra cómo se encuentran caracterizados los afluentes, los cuales tienen un alto contenido de DBO y son ricos en nutrientes esenciales, y la Tabla 3 describe la caracterización de los racimos vacíos o tusa en base seca.

Tabla 2. Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia.

Parámetro	Unidad	Rango	Promedio
ph	Unidad	3,87 – 5,25	4,55
dbo5	mg/l	18700–175521	48873
Temperatura	°c	53 -77	67,4
dqo	mg/l	45256–232000	79729,6
Sólidos totales (st)	mg/l	32482–111029	45669,8
Sólidos suspendidos (ss)	mg/l	19129–88258	35105
Grasas y aceites	mg/l	6480–80701	18747,1

Fuente: Cenipalma

Tabla 3. Composición química de la tusa en base seca

Parámetro	Unidad	Rango	Medida
Cenizas	%	4,8 – 8,7	6,3
Aceites	%	8,1 – 9,4	8,9
Carbono	Unidad	42-43	42,8
p2o5	%	0,65 -0,94	0,8
k2o	%	2,0 -3,9	2,9
mgo	%	0,25 – 0,40	0,3
cao	%	0,15-0,48	0,25
Boro	mg/kg	9,0 – 11,0	10
Cobre	mg/kg	22-25	23
Zinc	mg/kg	49 -55	51
Hierro	mg/kg	310 -595	473
Manganeso	mg/kg	26-71	48
Relación c:n		45-64	54

Fuente: Gurmit, Kow, Lee, Lim y Loong (1999).

El manejo de los residuos en plantas extractoras

Utilización del residuo del efluente de las plantas extractoras de aceite de palma

Los efluentes crudo y tratado de las plantas extractoras de aceite de palma tienen un alto contenido de nutrientes como N, K, Na y Mg, que hacen de este efluente atractivo como fertilizante. La utilización del efluente de las plantas extractoras como fertilizante es un método de reincorporar los nutrientes al suelo: "Muchos estudios han mostrado que la aplicación del efluente de las plantas extractoras ha incrementado el rendimiento de la cosecha y ha mejorado las propiedades del suelo" (Ma y Ong, 1986).

Hoy en día, un gran número de plantaciones de palma aplican el efluente de las plantas extractoras en sus tierras, hecho que ha resultado en ahorro en el costo de fertilizantes. Además, se ha informado que el rendimiento de la cosecha se incrementa hasta en un 24 % debido a la aplicación del efluente de las plantas extractoras al suelo (Ma et al., 1990). A su vez, según Kheng y Noor (1989), "(l)la producción de Biogás de los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma para generar energía ha sido explotada comercialmente. De cada tonelada del efluente de la planta extractora de aceite de palma digerido en tanques digestores se pueden obtener casi 28 m³" ().

La aplicación a la fertilización del suelo de residuos de la palma como raquis entero, fibra y hojas puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, aunque no en todos los casos se cumple e, inclusive, el efecto puede ser perjudicial. Por ello, se incorporan estos

materiales frescos o en proceso incipiente de biodegradación al suelo. El orden natural conlleva a que se cumplan los procesos de mineralización y pérdida sustancial de procesos y productos nitrogenados.

El mal manejo y el poco aprovechamiento de los desechos que se generan diariamente en los procesos productivos en algunas plantas extractoras contribuyen a la contaminación ambiental de las fuentes hídricas, del suelo y con malos olores.

En la actualidad, una planta extractora de aceite de palma con una capacidad de procesamiento de 15 ton h⁻¹ de RFF produce una carga contaminante similar a las aguas residuales producidas por una población de un millón de habitantes. Estudios iniciales sobre los beneficios de la aplicación de efluentes crudos en el suelo indicaron que estos pueden aplicarse en tasas razonables y podrían reemplazar a los fertilizantes inorgánicos, con el consiguiente aumento de la producción y sin efectos contaminantes sobre la superficie o el agua de la vecindad (Wood y Lim, 1989).

Stichnothe y Schuchardt (2010) realizaron un análisis del ciclo de vida de los subproductos, examinaron las diferentes alternativas de manejo de subproductos usadas en la agroindustria de la palma de aceite y cómo estas afectaban al calentamiento global. A través de la medición de CO₂ equivalente a 1 RFF, se encontraron los siguientes resultados: el proceso de acumular tusa y efluentes en piscinas emitía 245,0 CO₂, disponer tusa en plato y acumular en piscinas -125,0 CO₂, compostar RV y efluentes -7,4 CO₂ y producir biogás y compostar de RV y efluentes -6,2 CO₂. El compostaje y la producción de biogás son las alternativas ambientales más sostenibles.

En Quepos, Costa Rica, en la Plata Tica S.A., en el año 2003, se presentaron los resultados de un proyecto comercial de transformación de la fibra de raquis de racimos y los efluentes en abonos orgánicos. Se construyó un patio de compostaje en 4 hectáreas, donde la mecanización del transporte de la materia prima, la aplicación de los efluentes y el procesamiento puede realizarse con tres obreros, bajo el mando de un coordinador general. El ensacado y la aplicación de compost al campo (24-30 t/día) se hace con cinco personas y un equipo mecánico de transporte. Por cada tonelada de fibra de raquis procesada se obtienen 560 kg de compost, que tiene una densidad de 417 kg/m³, lo que implica un ahorro considerable en transporte, respecto a aplicarlo como fibra (250 kg/m³). La humedad final del producto oscila entre 45 y 55 %.

La planta extractora de aceite en la que se desarrolla el proyecto procesará durante el año 2003 un estimado de 91,500 t de racimos frescos, los cuales generarán unas 13,100 t de fibra de racimos, y unos 73.200 m³ de efluentes (de los cuales se utilizará aproximadamente un 40% en el proceso de compostaje). La producción de compost para este periodo se estima en 6,577 t, la cual será aplicada en aproximadamente 1,000 ha de plantación, con un costo total de proceso y aplicación en el campo de \$ 18,34/t. Si se compara el aporte nutricional del compost con el de un fertilizante químico, el proyecto de compostaje puede generar un ahorro de \$46,282/año, con lo cual la inversión en equipos e infraestructura se pagaría en cuatro años (Torres, Acosta y Chinchilla, 2004).

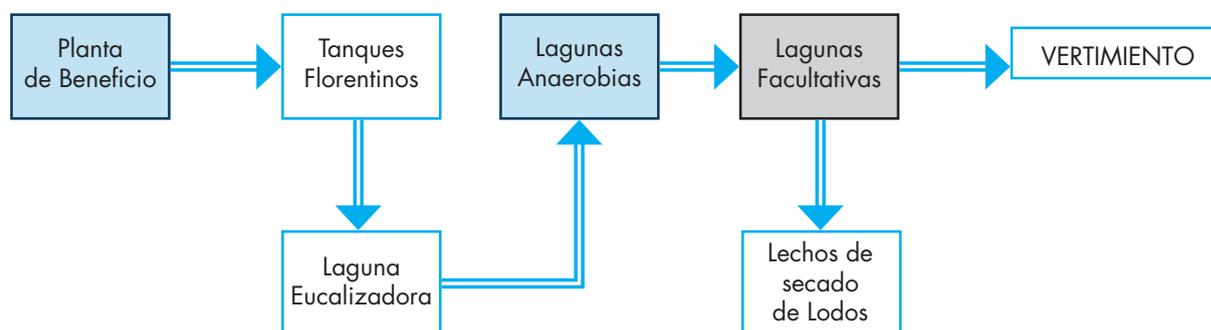
Es ampliamente reconocido que el proceso anaeróbico es el método primario más efectivo para manejar desechos fuertes de las plantas extractoras. El compostaje y la piscina de oxidación son dos métodos utilizados en Colombia para el tratamiento de los subproductos generados en la extracción de aceite de palma.

Piscinas o lagunas de oxidación

Son depósitos construidos mediante la excavación y compactación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado. El manejo sencillo del agua residual y la eficiencia energética son sus principales características. Una laguna de estabilización u oxidación funciona, básicamente, por la actividad bacteriana y otros organismos. Cuando el agua llega, se genera en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico.

La Figura 3 muestra el esquema del proceso de las lagunas de oxidación:

Figura 3. Sistema de tratamiento lagunar



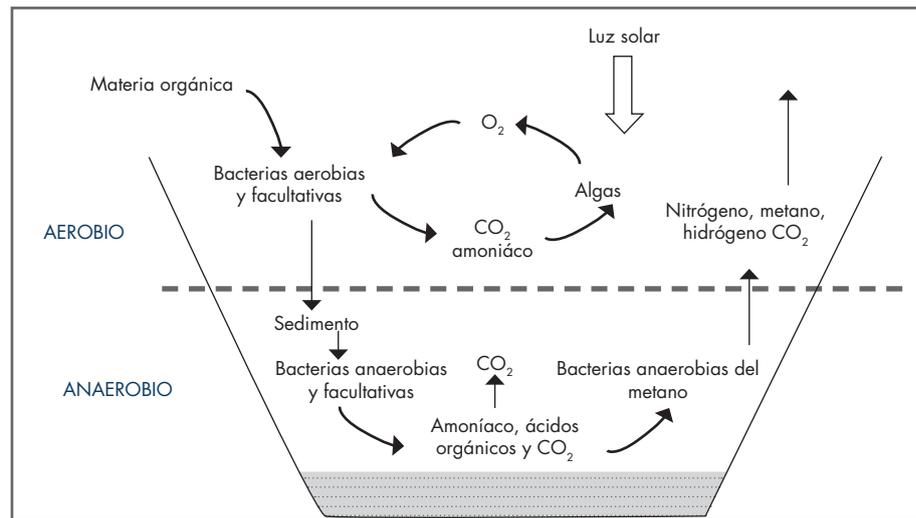
Fuente: elaboración propia

Las lagunas se pueden clasificar por su acción biológica en aeróbicas, anaeróbicas, facultativas y terciarias o de maduración (aeróbicas).

Las lagunas aeróbicas se basan en el aporte de oxígeno a partir del crecimiento de foto sintetizadores, como menciona Reutelshöfer (2015): “Las lagunas anaeróbicas son muy profundas, entre 4 a 5 metros. Por el contrario, su superficie es pequeña, ya que de esta forma las dimensiones permiten que no se produzca un ingreso suficiente de oxígeno en el agua”.

Las lagunas facultativas combinan las lagunas aeróbica y anaeróbica, contienen algas que brindan suficiente oxígeno para reducir la carga orgánica que ha pasado en forma soluble hasta este dispositivo.

Figura 4. Esquema de una laguna facultativa



Esquema de una laguna facultativa

Fuente: <http://cultivopalma.webcindario.com/lagunas.htm>

Ventajas y desventajas del uso de piscinas

Entre las ventajas se presentan el bajo costo de construcción, bajo costo de mantenimiento, operación simple, mínimo consumo de energía. Entre las desventajas se encuentra el área de terreno que se necesita (puede ser alto el valor del terreno), la proliferación de mosquitos y otros insectos, malos olores y la contaminación de fuentes hídricas por infiltración.

El compostaje

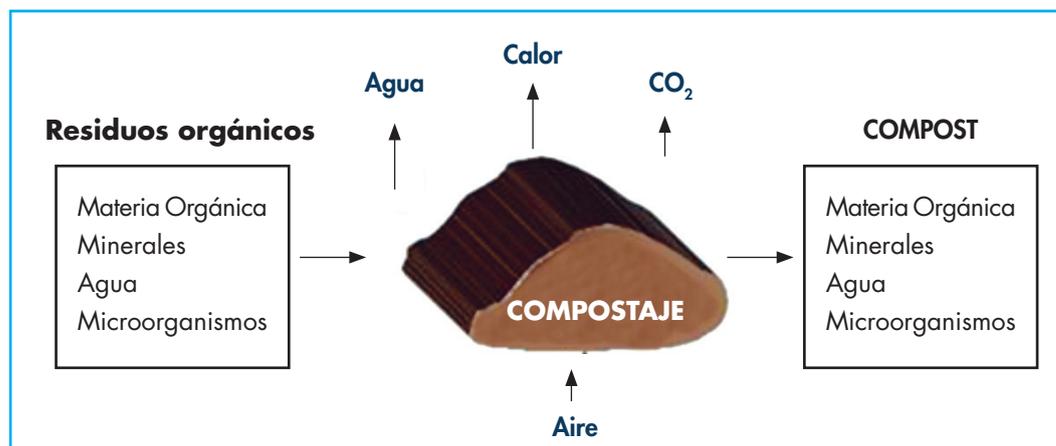
El compostaje se puede definir como un proceso dirigido y controlado de mineralización y prehumificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como compost, según se muestra en la Figura 5.

El compostaje nació con la finalidad de buscar un mejor manejo de los desechos procedentes de la planta de beneficio; reducir la compra y el uso de fertilizantes químicos, debido a los altos costos de estos insumos y al peso que estos representan en el proceso productivo; y la necesidad de mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo para el desarrollo de la palma de aceite (Corzo, 2013).

El proceso de compostaje involucra cuatro etapas principales:

- Preprocesamiento: se muelen los residuos.

Figura 5. Esquema del proceso de compostaje



Fuente: <http://www.concienciaeco.com/wp-content/uploads/2013/07/proceso-compostaje.jpg>

- Biodegradación: se produce la aeración, se controla la temperatura, para que crezcan los microorganismos que producen la degradación.
- Maduración: es la etapa de mayor duración, la materia orgánica se encuentra bien degradada y se genera la mayor cantidad de nutrientes.
- Acondicionamiento final: aquí se hace la última depuración y se logra un producto más homogéneo, listo para ser utilizado.

Utilización del compost en los cultivos de palma de aceite

Una vez tratados los residuos sólidos y los afluentes en las plantas de compostaje, el compost resultante es utilizado como fertilizantes en los cultivos de palma de aceite, por poseer un alto contenido de nutrientes, entre ellos K, N, Na y Mg.

La utilización de este compost tiene como fin proporcionar nutrientes para evitar la degradación de los suelos e incrementa la productividad de las cosechas en un 20 %. Además, disminuye el costo de los fertilizantes y también otorga una mejor calidad del fruto fresco, que se ve reflejada en un mayor rendimiento y mejor calidad en la producción de aceite de palma.

Metodología

El fin de esta investigación es analizar y evaluar económica y financieramente la relación costo-beneficio que tienen las plantas extractoras en las alternativas de uso de los residuos de la materia prima. Para el desarrollo de la investigación, utilizamos el método descriptivo cuantitativo no experimental, ya que se

realiza una descripción de los métodos utilizados en registros estadísticos de producción del compost, de la utilización de fertilizantes, de costos y de la capacidad en el manejo de efluentes las piscinas de oxidación.

Inicialmente, se exploraron diferentes bases de datos de artículos relacionados con el procesamiento o manejo de los desechos en las plantas de beneficio de aceite de palma. Posteriormente, se realizaron visitas exploratorias a plantas extractoras de palmas de aceite que manejan sus residuos a través del compostaje o de la piscina de oxidación, donde nos proporcionaron información sobre las normas que regulan la manipulación de los desechos, los beneficios, costos de inversión, de funcionamiento y de mantenimiento de los procesos.

La información recolectada nos permitió realizar el comparativo para determinar cuál de los métodos utilizados para el manejo de los residuos impacta de forma más positiva en la rentabilidad, en los costos y en el medio ambiente.

Resultados

Partiendo de los hechos conocidos a través de las investigaciones realizadas, se presentan los siguientes resultados:

Value Drives Analysis		2018	2019	2020	2021	2022
A	Retorno del patrimonio (roe)	-0,2 %	0,3 %	2,6 %	4,3 %	5,9 %
B	Retorno del Patrimonio (roe) planta de compostaje	-0,6 %	-0,8 %	1,0 %	2,4 %	3,7 %
C	Retorno del Patrimonio (roe) piscinas de oxidación (utilidad neta/patrimonio)	-0,8 %	-1,1 %	0,8 %	2,2 %	3,6 %
A	Margen neto	-0,2 %	0,4 %	2,7 %	4,5 %	6,2 %
B	Margen neto-planta de compostaje	-0,7 %	-0,9 %	1,0 %	2,4 %	3,8 %
C	Margen neto-piscinas de oxidación (utilidad neta/ventas)	-0,9 %	-1,1 %	0,8 %	2,2 %	3,6 %
A	Rotación activo	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41
B	Rotación activo-planta de compostaje	0,36	0,38	0,39	0,41	0,42
C	Rotación activo-piscinas de oxidación (ventas/total activo)	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43
A	Multiplicador del activo	2,46	2,48	2,45	2,39	2,31
B	Multiplicador del activo-planta de compostaje	2,39	2,43	2,42	2,39	2,34
C	Multiplicador del Activo-piscinas de oxidación (total activo/patrimonio)	2,46	2,50	2,49	2,46	2,41

Una vez analizados los costos de inversión y de operación de las dos alternativas del manejo de residuos en la empresa extractora de aceite de palma, vemos que la empresa que tiene instalada la planta de compostaje

realizó una inversión de \$5.072.980.536 y los costos de operaciones ascienden a \$1.270.86.289, mientras que las piscinas de oxidación requieren menor inversión y costos.

Se observa que el indicativo ROE también presenta una disminución: pasa de -0,2 % al -0,6 % en el primer año para el proceso de compostaje, y disminuye al -0,8 % en el proceso de piscinas. El margen neto de la utilidad también se ve disminuido al asumir los costos de operación de ambos procesos; sin embargo, el del compostaje se reduce en menor proporción, porque la venta del compost genera una utilidad que contrarresta el costo operacional.

Se analiza el comportamiento que presentan los FCL en cada opción cuando la compañía realiza las inversiones y asume costos adicionales, la cantidad de dinero disponible para cubrir deuda o repartir dividendos tiende a disminuir en el tiempo. También se muestra un valor presente neto negativo de -\$ 224.071.618.305, porque este proyecto tiene una inversión considerable y su retorno se prevé a largo plazo.

Conclusiones

A pesar de que el compostaje resulta más oneroso financieramente, las empresas optan por este proceso porque obtienen un beneficio intangible: la preservación del medio ambiente. Estudios demuestran que el método del compostaje produce un impacto positivo, ya que libera menos CO₂, produce menos efecto invernadero que las piscinas de oxidación, y la comercialización del compost representa un beneficio económico para la empresa.

Referencias bibliográficas

- Cortés, C., Cayón, D., Aguirre, V. y Chaves, B. (2006). Respuestas de palmas de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora: I. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca. *Revista Palmas*, 27(3), 23-32.
- Corzo, J. M. (2013). Compostaje con racimos de fruta de palma de aceite para la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CER). *Revista Palmas*, 34(1), 125-137.
- Fedepalma (2016). Desempeño del sector palmero colombiano. Recuperado de http://fedepalma.portalpalmero.com/sites/default/files/files/Fedepalma/17032017_Desempe%C3%B1o%20del%20Sector%202016%202017_Publicar%20P%C3%A1gina.pdf.
- González, A. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 37(2), 215-228.
- Jimeno, A., Mendoza, L. y Pérez, J. R. (2012). El reciclaje, analizado desde dos perspectivas. *Dimensión empresarial*, 10(1), 93-99.
- Kheng, Y. K., Noor, M. J. M. (1989). Environmental Engineering for Agricultural Production. In; International Symposium of Agricultural Engineering, Beijing. p.12-15.
- Ma, N.A. y Ong, A.S.H. (1986). Palm Oil Processing—New Development in Effluent Treatment. *Water Science & Technology*, 18(3), 35-40.

Torres, R., Acosta, A. y Chinchilla, C. (2004). Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Revista Palmas*, 25(2), 377-384.

Stichnothe, H. Schuchardt, F. (2010). Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(9), 907-915.

Reutelshöfer, T. (2015). *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. La Paz: Periagua. Recuperado de https://periagua.webmo.info/img_auth.php/a/a6/G.dee_Operación_y_Mantenimiento_de_Lagunas_de_Oxidaci%C3%B3n_en_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales.pdf

Wood, B. J. y Lim, K. H. (1989). Desarrollo de las aplicaciones de los efluentes de las plantas extractoras de aceite y caucho. *Revista Palmas*, 10(4), 27-42.

Webgrafía

<http://cultivopalma.webcindario.com/lagunas.htm>

http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/18072016_Desempen%CC%83o_sector_2015_2016.pdf

<http://www.concienciaeco.com/wp-content/uploads/2013/07/proceso-compostaje.jpg>