



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE COMPOSTAJE A
PARTIR DEL RAQUIS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE
PALMA AFRICANA PARA LA EMPRESA EXTRACTORA RIO
MANSO EXA S.A.”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: RIQUELME ARÉVALO DAVID ALEXANDER

TUTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA MSc.

Riobamba-Ecuador

2019

2019©, **David Alexander Riquelme Arévalo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de titulación certifica que: El trabajo técnico “DISEÑO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE COMPOSTAJE A PARTIR DEL RAQUIS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA PARA LA EMPRESA EXTRACTORA RIO MANSO EXA S.A.”, de responsabilidad del señor David Alexander Riquelme Arévalo, ha sido minuciosamente revisado por Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera

DIRECTORA DEL TRABAJO

DE TITULACIÓN



15/03/2019

Ing. Marcela Yolanda Brito Mancero

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



15/03/2019

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, David Alexander Riquelme Arévalo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



David Alexander Riquelme Arévalo

DEDICATORIA

A Dayana.

David

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo ha sido una labor en conjunto con muchas personas que me han ayudado a lo largo de este camino.

Quiero agradecer a mi madre Nelly y a mi padre Enrique por su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil, por ser los pilares de mi vida.

A mis hermanos Jonathan y Patricio quienes han sido verdaderos amigos para mí.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme permitido formarme como profesional dentro de sus instalaciones y por haber cruzado mi camino con profesores que han sido una fuente importante de ideas.

Quiero agradecer de forma especial a mis profesoras Mabel Parada y Marcela Brito por su inmensa dedicación conmigo, muchas gracias por su apoyo.

Finalmente dar gracias a Dayana por estar en mi vida.

David

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I	xv
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación del proyecto	2
1.3. Línea de base del proyecto	3
1.3.1. Antecedentes de la Extractora Río Manso Exa S.A.	3
1.3.2. Marco Conceptual	5
1.3.2.1. Subproductos de la producción de la palma africana.....	5
1.3.2.3. Proceso de extracción de aceite de palma africana.....	8
1.3.2.2. Compostaje.....	10
1.3.2.4. Factores que intervienen en el proceso de compostaje	12
1.4. Beneficiarios del proyecto	17
1.4.1. Beneficiarios directos	17
1.4.2. Beneficiarios indirectos	17
CAPITULO II	18
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
2.1. Objetivo General	18
2.2. Objetivos Específicos	18
CAPITULO III	19
3. ESTUDIO TÉCNICO	19
3.1 Localización del proyecto	19
3.2. Ingeniería del Proyecto	20
3.2.1. Tipo de Estudio	20
3.2.2. Metodología	20
3.2.3. Técnicas	21
3.2.3.1. Técnicas para la caracterización de la materia prima	22
3.2.3.2. Técnicas para la caracterización del compostaje terminado	24
3.2.4. Procedimientos a nivel del laboratorio y de la planta	26
3.2.4.1. Caracterización de la materia prima	26

3.2.4.2.	Relación de carbono-nitrógeno en la materia prima	28
3.2.4.3.	Caracterización del compostaje.....	29
3.2.4.4.	Relación de carbono-nitrógeno del compostaje.....	29
3.2.4.5.	Determinación del flujo de residuos de raquis	30
3.2.4.6.	Etapas y operaciones para el proceso de compostaje.....	30
3.2.4.7.	VARIABLES del proceso.....	35
3.2.5.	Cálculos y diseño para la planta de compostaje	36
3.2.5.1.	Balace de masa	36
3.2.5.2.	Diseño de las pilas de compostaje	39
3.2.6.	Resultados	41
3.2.6.1.	Resultados de la obtención del compostaje.....	41
3.2.6.2.	Resultados relación carbono nitrógeno del raquis y del compostaje	43
3.3.	Proceso de Producción.....	44
3.3.1.	Materia prima e insumos	44
3.3.2.	Diagrama del proceso	45
3.3.3.	Descripción del proceso de compostaje	45
3.3.4.	Capacidad de producción	47
3.3.5.	Propuesta para la utilización del compostaje.	47
3.3.6.	Distribución y dimensionamiento de la planta	47
3.4.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	49
3.5.	Análisis de costos	49
3.5.1.	Costos generados para la producción de compostaje	49
3.5.2.	Ganancias generadas en la producción de compostaje	51
3.6.	Cronograma de ejecución del proyecto.....	52
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		53
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES.....		56
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1: Extractora Rio Manso Exa S.A.....	4
Fotografía 1-3: Recepción de la materia prima.....	31
Fotografía 2-3: Homogenización.....	32
Fotografía 3-3: Trituración del raquis.....	33
Fotografía 4-3: Formación de las pilas de compostaje.....	33
Fotografía 5-3: Volteo.....	34
Fotografía 6-3: Cribado.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Composición del raquis de palma africana.....	5
Tabla 2-1:	Parámetros óptimos de humedad.....	13
Tabla 3-1:	Parámetros óptimos de temperatura.....	14
Tabla 4-1:	Control del tamaño de la partícula.....	15
Tabla 5-1:	Parámetros adecuados de aireación.....	15
Tabla 6-1:	Parámetros óptimos de pH.....	16
Tabla 7-1:	Parámetros en la relación carbono-nitrógeno.....	17
Tabla 1-3:	Coordenadas geográficas y principales factores.....	20
Tabla 2-3:	Determinación del contenido de humedad según la norma PAS 100.....	22
Tabla 3-3:	Determinación del contenido de materia orgánica.....	23
Tabla 4-3:	Determinación del contenido de nitrógeno.....	24
Tabla 5-3:	Determinación del contenido de humedad.....	25
Tabla 6-3:	Determinación del contenido de materia orgánica.....	26
Tabla 7-3:	Determinación del contenido de nitrógeno.....	26
Tabla 8-3:	Caracterización de la materia prima en el laboratorio.....	27
Tabla 9-3:	Porcentajes de carbono y nitrógeno.....	27
Tabla 10-3:	Caracterización de los efluentes de la laguna.....	28
Tabla 11-3:	Caracterización del compostaje final en el laboratorio.....	29
Tabla 12-3:	Porcentajes de carbono y nitrógeno.....	29
Tabla 13-3:	Características de la homogenización.....	31

Tabla 14-3:	Fases y características del almacenamiento.....	35
Tabla 15-3:	Variables del proceso de compostaje.....	36
Tabla 16-3:	Datos para la determinación de la densidad del raquis.....	39
Tabla 17-3:	Resultados de la relación C/N de la materia prima y compostaje.....	43
Tabla 18-3:	Materia requerida para la producción de compostaje.....	44
Tabla 19-3:	Áreas requeridas para la planta de compostaje.....	48
Tabla 20-3:	Requerimientos de tecnología, equipo y maquinaria.....	49
Tabla 21-3:	Costo de maquinaria y equipos para el compostaje.....	50
Tabla 22-3:	Depreciación de los equipos.....	50
Tabla 23-3:	Costos de Mano de Obra.....	51
Tabla 24-3:	Costo de equipos de protección personal.....	51
Tabla 25-3:	Costos de envasado del compostaje.....	51
Tabla 26-3:	Costos Totales.....	51
Tabla 27-3:	Determinación de las ganancias en la comercialización de compostaje.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Proceso de extracción de aceite.....	9
Gráfico 1-3: Formación de las pilas y degradación.....	37
Gráfico 2-3: Cambio en la humedad de la primera semana.....	38
Gráfico 3-3: Pérdida de peso de las pilas en 16 semanas.....	38
Gráfico 4-3: Cribado.....	39
Gráfico 5-3: Cambio en la humedad durante el proceso de compostaje.....	41
Gráfico 6-3: Cambio del pH durante el proceso de compostaje.....	42
Gráfico 7-3: Cambio de temperatura durante el proceso de compostaje.....	43
Gráfico 8-3: Proceso de producción.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Norma PAS 100 de la British Standard Institution para las especificaciones de materiales para compostaje

Anexo B: Norma NCh 2880 para la clasificación y requisitos para la obtención de compostaje

Anexo C: Relación C/N de los principales materiales utilizados para el compostaje

Anexo D: Fotografías de los análisis realizados a la materia prima

Anexo E: Fotografías de la materia prima y del compostaje final

Anexo F: Resultados de los análisis de la relación C/N del raquis de palma africana

Anexo G: Resultados de los análisis de la relación C/N del agua de la laguna de oxidación

Anexo H: Resultados de los análisis C/N del compostaje final

Anexo I: Diseño de la planta propuesta

RESUMEN

El objeto del presente trabajo de titulación es el diseño de una planta procesadora de compostaje a partir del raquis de la palma africana para la Extractora Río Manso EXA S.A., determinando el peso del material con el que se trabajó en una cantidad aproximada de 7000 kg semanales de raquis. Una vez que se han receptado los residuos se realizó el análisis físico-químico para determinar el tiempo de tratamiento el mismo que sería de 16 semanas, en donde se realizó el control de parámetros tales como la humedad, la temperatura de las pilas compostaje durante las etapas del proceso, el potencial de hidrógeno, el tamaño de partícula y de las pilas de compostaje, la relación carbono-nitrógeno, este último parámetro también fue medido al final de proceso también pues nos será útil para la validación del mismo. Al final de proceso se obtuvo un compostaje con una relación carbono-nitrógeno de 24.5 que según el Manual del Compostaje del Agricultor (FAO) se encuentra dentro de los parámetros óptimos. Se recomienda a la Extractora Río Manso Exa S.A. implementar este proyecto para poder obtener nuevas fuentes de ingreso, mejorar la calidad de los suelos para la producción de palma africana y ayudar a la reducción de residuos sólidos provenientes de extracción de aceite de palma africana.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <PLANTA DE COMPOSTAJE>, <COMPOSTAJE>, <RESIDUOS ORGÁNICOS>, < PALMA AFRICANA (*Elaeis Guineensis*)>, <CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA> <SANTO DOMINGO (CANTÓN)>



A handwritten signature in blue ink, followed by the number '06034870-8' written in blue ink below it.

ABSTRACT

The following investigation's objective is the design of a processing composting plant from the raquis of the African palm for the Extractora Rio Manso EXA S.A., determining the weight of the material with which worked in an approximate quantity of 7000 kg weekly rachis. Once the waste was received, the physical-chemical analysis was carried out to determine the treatment time, which would be 16 weeks, where the parameters such as humidity, the temperature of the composting piles during the stages of the process, the hydrogen potential, the particle size and the composting piles, the carbon-nitrogen ratio, this last parameter was also measured at the end of the process, as it will be useful for the validation of the same. At the end of the process, composting was obtained with a carbon-nitrogen ratio of 24.5, which according to the Manual of Farmer Composting (FAO) it is within the optimum parameters. It is recommended to the Extractora Rio Manso Exa S.A. implement this project to obtain new sources of income, improve the quality of salaries for African palm production and help reduce solid waste from oil palm oil extraction.

KEYWORDS:

<CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <COMPOSTING PLANT>, <COMPOSTING>, <ORGANIC RESIDUES>, <AFRICAN PALM (*Elaeis Guineensis*)>, <PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION> <SANTO DOMINGO (CANTON)>



CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A., es una empresa productora de aceite de palma africana, que lo distribuye a una amplia variedad de sectores industriales, a nivel nacional e internacional. La producción de aceite genera una gran cantidad de desechos. Los racimos vacíos (raquis) y las aguas lodosas (efluentes) son los principales subproductos del proceso de extracción del aceite.

De estos residuos, son los racimos o raquis de la palma los que ocupan un mayor volumen para su almacenamiento, muchas veces son depositados en un relleno sanitario, o simplemente se dejan a la intemperie sin darle un uso adecuado. Los desechos que se producen en la extracción de aceite de palma africana son elevados. En la producción industrial el raquis constituye aproximadamente el 35% del peso total racimo antes de la extracción del fruto.

Es así como la Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A., se ve en la necesidad de implementar una planta de tratamiento para estos residuos, mediante esto la empresa espera reducir el volumen de desechos sólidos y orgánicos que se producen a diario y transformarlos en un compostaje que sea útil para diversos cultivos agrícolas, principalmente como compostaje de los bastos cultivos de palma africana.

Estos desechos, que ocupan amplios espacios de terreno, pueden ser destinados como la materia prima de una planta de compostaje y obtener fertilizantes, los cultivos de palma africana acaparan cientos de hectáreas y así como cualquier otro tipo de cultivo requieren ser abonadas de forma adecuada, la producción de raquis y su posterior transformación en compostaje puede mejorar sustancialmente la producción y evitar las paradas que se dan dentro de la extractora debido a la falta de materia prima.

1.2. Justificación del proyecto

La cantidad de residuos sólidos que son generados en la Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A. no están siendo aprovechados de forma adecuada. El aceite de palma, tanto en estado crudo como refinado, es una importante fuente de vitaminas y nutrientes. Los subproductos sólidos generados durante el proceso de extracción son importantes por su composición, para ser utilizados como compostaje y combustibles, principalmente.

Para la elaboración de compostaje se pueden utilizar numerosos productos de tipo orgánico, siendo los residuos vegetales y de ganado, los principales subproductos para su elaboración. Los residuos vegetales generalmente previo a su tratamiento deben ser clasificados, puesto que al provenir de varias fuentes es común encontrar plásticos y otras sustancias que impiden el correcto proceso de compostaje, esto en un principio va a requerir de un mayor trabajo, y por lo tanto, aumentará el costo final del producto. Los residuos de ganado son una fuente importante de nitrógeno, siendo este uno de los compuestos principales del compostaje, el problema que puede presentar su tratamiento es la emisión de olores, puesto que la materia prima más utilizada es el estiércol, las plantas de tratamiento deben estar ubicadas en zonas bastante alejadas y tener una ventilación adecuada pues la presencia de insectos y otros animales puede generar problemas.

Los residuos generados en la extracción de aceite de palma africana, el raquis que será utilizado como la materia prima para la obtención de compostaje, tiene en su composición un porcentaje de materia orgánica adecuado como punto de partida y también tiene un importante contenido de nitrógeno. Una ventaja en principio del raquis frente a los residuos de vegetales y de ganado, es que es homogéneo y no emite olores desagradables en su almacenamiento, aun así, su degradación con el tiempo puede atraer varios organismos que pueden afectar el resultado final, esto debe ser corregido mediante una correcta aireación, tema que será tratado más adelante.

Como parte fundamental del proyecto se busca diseñar una planta procesadora que aproveche al máximo el raquis de la palma africana, siendo este un subproducto de la producción de aceite, para la producción de compostaje de calidad, tanto para su uso dentro de los cultivos pertenecientes a la extractora, y para su comercialización a nivel local, de esta forma se tendrá un considerable ahorro, evitando comprar compostaje y a su vez se generará ganancias para la empresa una vez el producto esté listo para su salida al mercado.

La incineración del raquis contribuye a la contaminación ambiental y se encuentra prohibido en todo proceso de extracción de palma. El diseño de una planta para procesar compostaje disminuirá de forma considerable el volumen de residuos y su producción pudiendo mejorar los cultivos de la zona, ya que el compostaje, por sus características, mejora la absorción de agua y fija minerales importantes al suelo que mejoran las cosechas. La relación carbono-nitrógeno será nuestro parámetro fundamental para clasificar el compostaje final, ambos elementos son indispensables para el desarrollo de la vida y su relación será un indicativo clave para la validación de proceso de elaboración de compostaje a partir del raquis de palma africana.

Según FEDEPAL, 2017 el cultivo y procesamiento de palma genera en el país más de 150 mil empleos, cifra que se puede ver incrementada a través de la producción de compostaje a partir del raquis de la palma africana, generando así ingresos a la planta y beneficiando a los sectores primarios locales; que pueden servirse de la composta para mejorar la producción de los cultivos.

1.3. Línea de base del proyecto

1.3.1. Antecedentes de la Extractora Río Manso Exa S.A.

Extractora Río Manso Exa S.A. es una compañía del Grupo La Fabril, constituida legalmente desde el año de 1977 y se dedica a la producción de aceite rojo de palma africana para su comercialización, el aceite rojo es utilizado como materia prima en la elaboración de un importante número de productos tales como detergentes y jabones, entre otros; el aceite de palmiste se obtiene en una planta que trabaja de forma conjunta y sus usos son principalmente en el sector de la repostería. Ambos aceites se obtienen del fruto del *Elaeis Guineensis*, originario de Guinea Occidental y, en general, de zonas cercanas a la línea ecuatorial, por eso Ecuador es un importante productor de palma africana. La planta de Patricia Pilar, perteneciente a la parroquia de Patricia Pilar, busca la implementación de un sistema que permita obtener compostaje orgánico a partir de los desechos de la producción de aceite, el raquis es uno de los residuos que ocupa mayores volúmenes.

La extractora ha hecho ya la implementación de una planta de compostaje dentro de la planta de producción de La Comuna, en donde la producción es menor que en Patricia Pilar, pero siguiendo este ejemplo hay interés en la implementación de una planta de compostaje a mediano plazo. La empresa tiene grandes áreas de terreno con sembríos de palma, pero también compra el fruto a

productores locales y en ocasiones fuera de la provincia debido a la escasez de producción que se da por temporadas.

La planta ubicada en el km 41 ½ de la vía Quevedo se dedica a la producción de aceite de palma africana, destinada a una amplia diversidad de sectores y de aceite de palmiste, que se utiliza principalmente en la repostería, la obtención de estos aceites involucra una alta producción de residuos sólidos, entre ellos el raquis de palma, que ha sido utilizados como rellenos o almacenados a la intemperie, sin hacer un uso beneficioso de los mismos, la planta de compostaje puede servir para la transformación de todos estos subproductos para que sean utilizados en diversos cultivos locales.

La misión de la Extractora Río Manso es la de producir aceite de palma, de palmiste y otros productos para mercados nacionales e internacionales con altos estándares de calidad y cumpliendo debidamente con las normas ambientales y laborales, generando así un buen servicio con los proveedores.

La visión de la compañía es consolidarse con liderazgo como el principal productor de aceite para el mercado local y ser un actor relevante para la exportación, con índice elevado de rentabilidad y optimización de los procesos, todo esto de forma integral con una actitud comprometida y responsable.



Fotografía 1-1: Extractora Río Manso Exa S.A.
Realizado por: David Riquelme, 2018.

1.3.2. Marco Conceptual

1.3.2.1. Subproductos de la producción de la palma africana

Raquis

El raquis son los racimos o tusas vacías de la palma, está formado por un tallo principal que consta de numerosas espigas, que a su vez terminan en afiladas puntas; en los tejidos del parénquima se encuentran integrados los haces vasculares, de formar similar que en los troncos. Posterior al proceso de separación mecánica de los frutos o desfrutamiento, el peso del raquis constituye entre el 20 al 35 % de peso total del racimo con su fruto aún sin procesar. (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

La disposición de estos subproductos se lo realiza en áreas de emplazamiento alejadas de las zonas operativas, esto se hace porque el raquis en su proceso de descomposición atrae una gran variedad de insectos y roedores, la incineración del raquis está prohibida en los procesos de extracción de aceite de palma, pues produce la contaminación del aire y atmósfera. Las empresas dedicadas a la extracción de palma desarrollan métodos que les permitan la reutilización de los subproductos de forma eficiente y así reducir los posibles impactos ambientales que se puedan causar por su almacenamiento o incineración. (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Tabla 1-1: Composición del raquis de palma africana

Componente	Porcentaje
Celulosa	59,7
Hemicelulosa	22,1
Lignina	18,1
Ceniza	3,8

Realizado por: RIQUELME, David. 2018

Fuente: RIO MANSO EXA S.A.



Fotografía 2-1: Raquis
Realizado por: David Riquelme, 2018.

Fibra

La fibra es una sustancia lignocelulósica, que posee componentes similares a otras fibras vegetales, pero en distinta composición, además posee una cantidad de humedad baja en comparación al raquis, por esta característica se la utiliza como una fuente energética en la generación de vapor y electricidad, recursos requeridos para el funcionamiento del caldero. Al ser material de característica lignocelulósica, está formado primordialmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, estos materiales a su vez tienen presentes compuestos de bajo peso molecular y en minúsculas cantidades, tales como sales minerales, proteínas y solventes de tipo orgánico (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Al igual que el raquis, la fibra puede ser procesada con facilidad y su aplicación abarca también varias áreas:

- Combustible para la generación de potencia
- Productos biodegradables a base de fibra
- Rellenos en los tableros de tipo moldeado
- Fabricación de esteras
- Industria de pulpa y papelera. (Galindo Castañeda, y otros, 2012)

Efluentes

Se ha corroborado mediante estudios en lo referente a la extracción de aceite, que el procesamiento de la fruta fresca de palma genera grandes cantidades de agua residuales que no son aprovechadas con eficiencia, se puede recuperar cantidades considerables de aceite, tanto de los lodos como de las lagunas de oxidación. Para la purificación de un efluente mediante bacterias anaeróbicas se requiere un tiempo considerable para que los microorganismos consigan descomponer las grasas, proteínas y carbohidratos en productos con mayor estabilidad (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Los efluentes contienen sales e iones dentro de su solución, además de una demanda elevada de oxígeno, no posee elementos tóxicos, pero si un rápido proceso de descomposición de la materia orgánica. El adecuado manejo y monitoreo de los efluentes en las distintas lagunas de oxidación es importante para evitar posibles impactos ambientales, también reduce la cantidad de residuos no deseados. Los efluentes tienen por lo general un pH alcalino, lo que nos indica que contribuyen con nutrientes y materia orgánica. Pueden ser utilizados para aumentar la humedad y nitrógeno en la elaboración de compostaje. Se puede recuperar cantidades considerables de aceite tanto de los lodos como de las lagunas de oxidación, este aceite es utilizado para fabricar jabones o concentrados alimenticios para animales (Galindo Castañeda, y otros, 2012).



Fotografía 3-1: Efluentes

Realizado por: David Riquelme, 2018.

1.3.2.3. Proceso de extracción de aceite de palma africana

Recepción del fruto

Es la etapa inicial del proceso de extracción, los camiones llegan cargados con el fruto, el mismo que es pesado y clasificado previo a su ingreso a la planta. La clasificación de los frutos se hace de acuerdo al tamaño, la cantidad de pulpa o mesocarpio, madurez y tamaño del tallo (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Pelado

Mediante este proceso se consigue la reducción del tamaño del fruto, separando las partes de las que no se puede obtener aceite (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Esterilización

Es una etapa de gran importancia para que las etapas subsecuentes se realice correctamente, la esterilización permite desacelerar el proceso de acidificación de la pulpa mediante la inactivación de la enzima lipasa que es la encargada de la hidrólisis del aceite en ácidos grasos, facilita el proceso de separación de la fruta y el ablandamiento de la pulpa, esto se consigue por la ruptura de las celdas que contienen aceite, se reduce el tamaño de la almendra dentro de la nuez lo que permite el desprendimiento de la cáscara al romperse, la esterilización también evita la formación de emulsiones mediante la coagulación del material mucilaginoso y proteínas, que enturbian el aceite (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

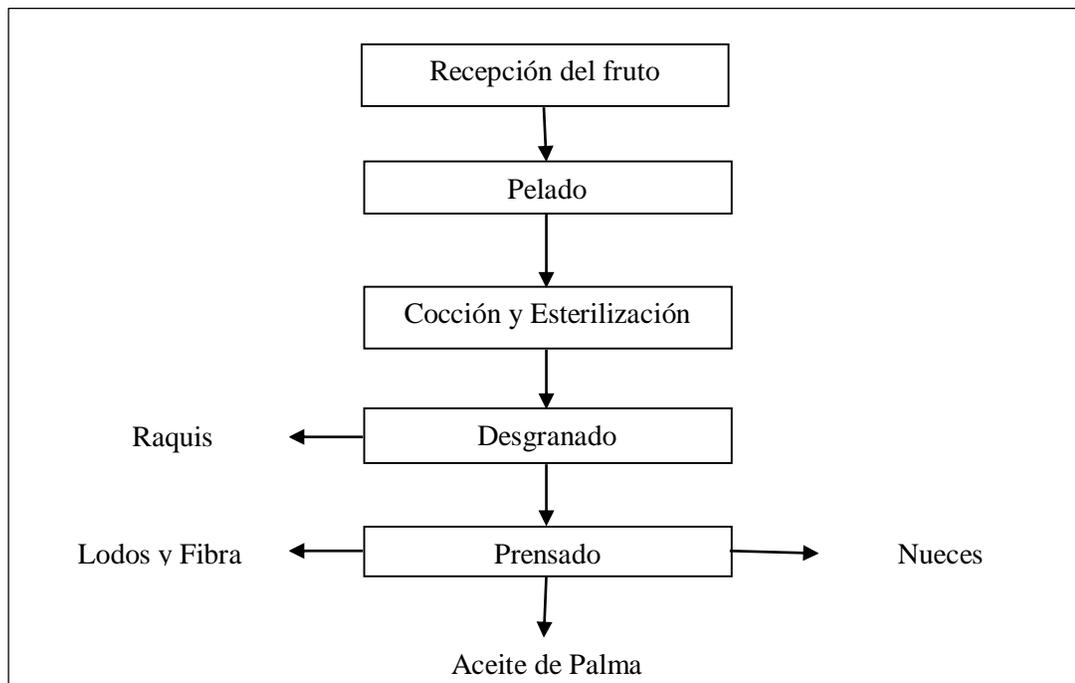
Desgranado

Es un proceso mecánico en que el raquis es desprendido de la fruta cocida mediante el uso de un desgranador rotativo. (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

Prensado

Se lleva a cabo dentro de los digestores que son unos cilindros compuestos por un eje vertical rotativo con agitadores que se encargan de macerar y calentar la fruta, de esta manera se separa el mesocarpio y se rompen las celdas que contienen el aceite, es una acción mecánica que se realiza a presiones de 2068 Pa y temperaturas de entre 45-50°C. El aceite que ha sido extraído del fruto se lo hace atravesar por un tamiz vibratorio para luego bombearlo directamente al calentador que aumenta su temperatura hasta los 95°C (Galindo Castañeda, y otros, 2012).

En esta etapa el aceite es enviado a los tanques de clarificación continua, donde la parte limpia asciende al tope de los clarificadores, y de allí al depósito de aceite purificado o clarificado, de aquí pasa al secador donde la humedad es reducida a valor inferior al 0.1% para mantener la calidad por más tiempo (Galindo Castañeda, y otros, 2012).



Gráfica 1-1: Proceso de extracción de aceite

Realizado por: David Riquelme, 2018.

1.3.2.2. Compostaje

El proceso de compostaje consiste en el tratamiento de desechos o residuos de carácter orgánico o biodegradable mediante la actividad compleja de microorganismos descomponedores, dicho proceso se realiza de manera controlada y en condiciones aeróbicas. Para el compostaje podemos servirnos de gran tipo de materiales, siendo los más utilizados los residuos domiciliarios orgánicos, desechos de animales y los restos que puedan quedar después de la cosecha, una vez haya empezado el proceso de descomposición, la transformación permitirá obtener un material útil para el mejoramiento de los suelos para la cosecha y por tanto su calidad (Cataluña, 2016)

Etapas del proceso de compostaje

Etapa Mesófila

Es la primera etapa en el proceso, para dar inicio se empieza por la formación de las pilas, las cuales en esta etapa inicial tienen una temperatura igual o similar a la del ambiente donde se lleve a cabo el proceso. La temperatura, dependiendo el lugar en donde se realice el compostaje, puede llevar hasta los 45°C, este aumento se debe a que la actividad microbiológica ha dado inicio, los microorganismos se valdrán como fuente de recurso principalmente del carbono y nitrógeno contenidos en el compost, esto será lo que genere calor. La descomposición de las fuentes de carbono más simples llevará a una reducción considerable del pH a valores de entre 4.0 y 4.5 (Ramón, y otros, 2013).

Etapa Termófila

Esta etapa se caracteriza por el aumento de temperatura, de 45°C a 60°C aproximadamente. Cuando el compost supera la temperatura característica de la etapa mesófila, los microorganismos termófilos entran en acción y descomponen las fuentes de carbono más complejas, tales como la celulosa y la lignina, lo mismo sucede con las fuentes de nitrógeno que se transforman en amoníaco. En esta etapa se da un aumento del pH en el compostaje. (Ramón, y otros, 2013).

El aumento de temperatura hasta los 60°C propician la aparición de actino bacterias y esporas, estas se encargan de la degradación de componentes de carbono complejos, como la hemicelulosa y lignina. Es una etapa en la que el tiempo varía de acuerdo al tipo de materia prima, las condiciones

climatológicas y el lugar; pero en general puede variar desde unos pocos días hasta varios meses. También es conocida como etapa de higienización, pues el calor se encarga de destruir microorganismos patógenos o contaminantes, tales como el *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*, perjudiciales para la salud. El calor generado también elimina esporas de los hongos fitopatógenos y quistes de helmintos. Culminada esta etapa se obtiene un producto higiénico y libre de microorganismos dañinos (Ramón, y otros, 2013).

Etapa Mesófila II

También conocida como etapa de enfriamiento, se caracteriza por la disminución de la temperatura hasta los 45°C. Esta disminución se debe a que se han consumido una gran parte de las fuentes de nitrógeno, y también de carbono. La celulosa, al estar formada por complejas cadenas de carbono, continúa su degradación en esta etapa. Se pueden apreciar hongos asentados en el compostaje. Cuando la temperatura desciende a los 40°C, los microorganismos mesófilos entran en actividad de nuevo, lo que produce un leve declive en el pH. Este enfriamiento puede durar varias semanas (Ramón, y otros, 2013).

Etapa de Maduración

La etapa final del proceso se desarrolla a temperatura ambiental, aquí se producen reacciones de polimerización y condensación, valiéndose de compuestos de carbono se generarán ácidos húmicos y fúlvicos, que influyen directamente en el grado de fertilidad del compostaje. Factores como la relación C/N, la humedad y el pH, intervendrán en el crecimiento de los microorganismos presentes en el producto final, además las condiciones ambientales deben ser monitoreadas a lo largo del proceso para que la maduración sea correcta (Ramón, y otros, 2013).

Sistemas de compostaje

La característica primordial del este tipo de sistemas es la acción metabólica respiratorio aerobia, además de la presencia de etapas mesófilas intermediadas por etapas termófilas, las cuales se producen por la presencia de los microorganismos respectivos. (Sztern, y otros, 1999).

Sistema de pilas móviles

Este sistema es conocido como de parvas o camellones, se recurre a este sistema cuando la materia de la que se quiere obtener compostaje es de misma dimensión y morfología. Para que el sistema sea móvil se requiere de la aireación de las pilas ejecutando volteos con palas u otra maquinaria, además esto permite una adecuada homogenización en la marcha (Sztern, y otros, 1999).

Sistema de pilas estáticas

A diferencia del sistema anterior, como su nombre lo dice las pilas no son movidas, así que se requiere de instalaciones que sean adecuadas para llevar a cabo el proceso (Sztern, y otros, 1999).

1.3.2.4. Factores que intervienen en el proceso de compostaje

Humedad

La humedad está íntimamente ligada a la presencia de los microorganismos; pues estos, al igual que el resto de los seres vivos, requieren un medio de transporte para los nutrientes y material energético. Para que la humedad sea óptima en el proceso de compostaje debe tener un valor aproximado al 55%, aunque dicho valor puede variar de acuerdo a las condiciones iniciales en las que se realiza el proceso. Un valor de humedad que sea inferior al 45% hará que la actividad microbiana se vea disminuida, y esto a su vez evitará la correcta degradación del material a compostar. Si el valor de humedad supera el 60% no permitirá la oxigenación adecuada de la materia, puesto que el agua satura los poros. Una forma efectiva de controlar la humedad en el compost es aplicar la técnica del puño. (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 2-1: Parámetros óptimos de humedad

Porcentaje de Humedad	Problema		Solución
Menor al 45 %	Falta de Humedad	Reduce la velocidad del proceso de compostaje ante la falta de agua.	Añadir agua o materiales frescos con alto contenido de humedad.
45 % - 60 % Rango Ideal			
Mayor al 45 %	Falta de Oxígeno	El oxígeno es insuficiente por excesiva humedad en las pilas, se generan zonas anaeróbicas.	Añadir materiales con baja humedad y elevado porcentaje de carbono, realizar volteos continuos.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Tamaño de la pila

El tamaño de la pila es un parámetro importante, se debe tener especial cuidado con la altura de la misma puesto que influye de forma directa en otras variables. Si la pila de compostaje posee una altura baja y una base ancha hará que el calor generado por la acción microbológica se vea disminuido con rapidez, aun cuando la relación C/N y la humedad sean adecuadas en el proceso inicial (Ramón, y otros, 2013).

El tamaño de la pila vendrá determinado por la cantidad de materia prima que se requiera compostar y el área para llevar a cabo dicho proceso. Para facilitar los volteos, se forman pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto y entre 1,5 y 3 metros de ancho. El largo de la pila dependerá del área disponible. Cuando se realicen las estimaciones para el dimensionamiento de la pila, tendremos presente que a lo largo del proceso esta disminuirá su volumen hasta en un 50 %, esto se produce porque habrá una pérdida considerable en forma de dióxido de carbono, además de la propia compactación (Ramón, y otros, 2013).

Temperatura

La temperatura es una variable que cambia en función de la etapa del proceso en la que nos encontremos. En general, la temperatura inicial es la ambiental y puede alcanzar los 65°C sin hacer uso de agentes de calentamiento externo, para luego descender en la etapa de maduración a la temperatura ambiental. Es importante monitorear que no existan caídas bruscas en la temperatura a lo largo del proceso (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 3-1: Parámetros óptimos de temperatura

Temperatura	Causas Relacionadas		Soluciones
Inferior a los 35°C	Humedad Insuficiente	La falta de humedad ocasiona que los microorganismos disminuyan la actividad metabólica y la temperatura.	Humectar la materia o añadir materiales ricos en agua, con altos porcentajes de humedad.
	Materia Insuficiente	Poca cantidad de material disminuirá la temperatura.	Añadir más material a las pilas de compostaje.
	Nitrógeno Insuficiente, Baja Relación C/N	Los microorganismos necesitan nitrógeno suficiente para producir proteínas y enzimas, de lo contrario ralentizan la actividad considerablemente.	Añadir materiales con un alto contenido de nitrógeno.
Superior a los 70°C	Altas temperaturas	A temperaturas demasiado altas se inhibe el proceso de descomposición, los microorganismos siguen activos pero no los mesófilos que no trabajan a temperaturas altas.	Añadir material con un alto contenido de carbono de lenta degradación para ralentizar el proceso, además de verificar la humedad.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Tamaño de partícula

El tamaño de la partícula influye en el tiempo de descomposición de los materiales porque al ser los residuos de menor tamaño aumentan el área superficial que favorece la actividad microbiana. (Ramón, y otros, 2013).

Para iniciar el proceso de compostaje el tamaño recomendable del material es de 5 a 20 cm. Es necesario tener una densidad inicial de entre 150 y 250 kg/m³, teniendo en cuenta la cantidad de agua y el nivel de aireación, mientras avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y la densidad aumenta, hasta 600 kg/m³. El rango ideal para el tamaño de partícula está entre 5 y 30 cm aproximadamente, si fuera un diámetro inferior al rango se debe añadir material de tamaño mayor a las pilas y girar, el problema de un diámetro más pequeño es que crean poros pequeños que se llenan de líquido, compactando fácilmente el material y teniendo un flujo restrictivo de aire, generando anaerobiosis. A un diámetro mayor a los 30 cm se originan grandes conductos de aire

que bajan la temperatura y desaceleran el proceso, lo conveniente sería reducirlo a un diámetro más aproximado al ideal mediante la trituración. (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 4-1: Control del tamaño de la partícula

Tamaño	Problema		Solución
Mayor a 30 cm	Aireación Excesiva	Cuando el material tiene partículas de gran tamaño se formarán canales de aireación que bajarán la temperatura y por tanto, restarán velocidad al proceso.	Reducir el tamaño del material hasta conseguir un tamaño medio de entre 10 y 20 cm.
5 - 30 cm Rango Ideal			
Menor a 5 cm	Compactación	Cuando el material está formado por partículas pequeñas se produce una restricción del flujo de aire.	Realizar volteos y añadir material de tamaño mayor para conseguir una homogenización.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013.

Realizado por: David Riquelme, 2018

Aireación

La aireación de las pilas es un proceso importante, puesto que el proceso de compostaje se desarrolla en un medio aerobio. La correcta aireación permite que los microorganismos respiren y liberen dióxido de carbono, además esto evita que el material se compacte y acumule demasiada agua. En la etapa termófila es cuando se requiere un mayor consumo de oxígeno (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 5-1: Parámetros adecuados de aireación.

Porcentaje de Aireación	Problema		Solución
Menor al 5 %	Poca Aireación	No permite la evaporación del agua lo que produce un exceso de humedad y anaerobiosis.	Añadir material estructurante que facilite la aireación, realizar volteos de la mezcla.
5 % - 15 % Rango Ideal			
Mayor al 15 %	Excesiva Aireación	Caída de la temperatura y rápida evaporación del agua, esto lleva a ralentizar, incluso a detener el proceso de degradación.	Reducir el tamaño del material. Regular la humedad mediante la adición de agua o de materiales con un alto porcentaje de humedad.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

pH

El pH en el compostaje puede verse sujetos a cambios, de acuerdo a la fase del proceso y al material que se vaya a compostar, en las primeras etapas del proceso, más concretamente en la etapa mesófila I, el pH se vuelve ácido debido a la producción de ácidos orgánicos. En la siguiente etapa termófila, el nitrógeno que se convierte en amoníaco, hace que el pH se eleve y alcalinice, para una vez llegada a la maduración se estabilice en valores aproximado al neutro. El pH induce a los microorganismos a entrar en actividad y multiplicación (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 6-1: Parámetros óptimos de pH

pH	Causas Relacionadas		Soluciones
Menor a 4,5	Ácidos orgánicos en exceso	Materiales tales como vegetales y frutas liberan una gran cantidad de ácidos orgánicos que acidifican el sistema.	Añadir materiales con alto contenido en nitrógeno, hasta llegar a una buena relación de C/N.
4,5 – 8,5 Rango Ideal			
Mayor a 8,5	Nitrógeno en exceso	Su exceso, sumado a una relación deficiente de C/N y temperaturas elevadas, produce una gran cantidad de amoníaco que alcaliniza notablemente el medio.	Añadir material seco y con una alto contenido de carbono, puedes ser hojas secas, aserrín, etc.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Relación carbono-nitrógeno

Es la variable principal en lo que se refiere al desarrollo del proceso del compostaje. Si el carbono se encuentra contenido en demasiada cantidad en el compostaje, se producirá una evacuación en forma de CO₂ a la atmósfera, la fermentación en este caso será lenta, de temperatura baja y tardará mucho más tiempo en obtener el compostaje final. Si se diera en caso contrario, con un contenido excesivo de nitrógeno, se producirá una evacuación de amoníaco a la atmósfera, emisión de olores desfavorables y temperaturas altas. (Ramón, y otros, 2013).

Tabla 7-1: Parámetros en la relación carbono-nitrógeno

C/N	Causas Relacionadas		Soluciones
Mayor a 35:1	Carbono en exceso	Es probable que la materia a compostar sea rica en compuestos de carbono, esto produce enfriamiento y ralentización en el proceso.	Añadir materiales ricos en nitrógeno hasta adecuar la relación C/N.
15:1 – 35:1 Rango Ideal			
Menor a 15: 1	Nitrógeno en exceso	Es probable que la materia a compostar sea rica en compuestos de nitrógeno, esto produce calentamiento en exceso y malos olores debido al amoniaco que se libera.	Añadir materiales ricos en carbono como hojas secas, aserrín, etc.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor; RAMON PILAR, MARTINEZ MARÍA, PANTOJA ALBERTO; 2013

Realizado por: David Riquelme, 2018.

1.4. Beneficiarios del proyecto

1.4.1. Beneficiarios directos

La Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A es la beneficiaria principal debido a que avala el proyecto por la necesidad que existe de dar un tratamiento adecuado a los desechos sólidos que se acumulan en la producción de aceite de palma africana.

1.4.2. Beneficiarios indirectos

El sector primario, específicamente el sector agrícola y las personas que se encuentran trabajando en el mismo encontrará beneficios con la creación de la planta de compostaje, ya que sus cultivos se verán mejorados con el uso del compost obtenido a partir de los racimos vacíos de la palma.

Las poblaciones aledañas a la parroquia de Patricia Pilar pueden adquirir el compostaje sin movilizarse a los centros urbanos, y así economizar su tiempo y dinero.

CAPITULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

- Diseñar una planta procesadora de compostaje a partir del raquis de la extracción de aceite de palma africana para la Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización físico-química de los residuos sólidos de extracción de palma africana (raquis).
- Realizar el balance de masa para el proceso de compostaje a partir de los racimos vacíos de la extracción de palma africana (*Elaeis Guineensis*).
- Dimensionar la planta procesadora para la obtención de compostaje.
- Validar el diseño mediante la caracterización del compostaje obtenido en base a la relación C/N.

CAPITULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

La Extractora Agrícola Rio Manso Exa S.A. es una empresa constituida que cuenta con varias plantas en el país, el diseño de la planta de compostaje se llevará a cabo en la Extractora Rio Manso S.A. ubicada en el Km 41 ½ vía Santo Domingo – Quevedo, parroquia Patricia Pilar perteneciente al cantón Santo Domingo, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

La parroquia Patricia Pilar es el límite entre las provincias de Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas. Posee una población de 13.000 habitantes aproximadamente, por el momento consta de once sectores habitables, por esta parroquia cruza la carretera E25 que conecta la costa con la sierra. El clima puede variar a durante el año entre los 29 y 35°C, con una precipitación promedio mensual superior a 1500. La altura sobre el nivel del mar es de 560 metros.

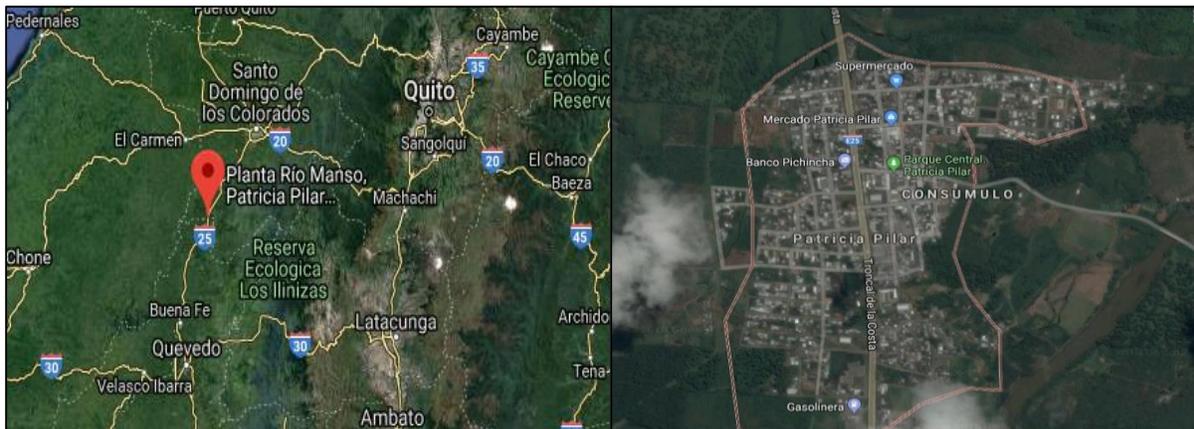


Figura 1-3: Ubicación geográfica de la parroquia Patricia Pilar.

Fuente: (Google Maps, 2018).

Tabla 1-3: Coordenadas geográficas y condiciones meteorológicas

LUGAR	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		FACTORES A CONSIDERAR		
	Latitud	Longitud	Temperatura promedio mensual (°C)	Precipitación media mensual(mm)	Humedad Relativa (%)
Santo Domingo	-0.89810	-79.49078	27°C	1689	85

Fuente: (Condiciones Experimentales del cantón Santo Domingo, 2018).

Realizado por: David Riquelme, 2018.

3.2. Ingeniería del Proyecto

3.2.1. Tipo de Estudio

El diseño de una planta procesadora de compostaje a partir del raquis de la extracción de aceite de palma africana consiste en un ESTUDIO TÉCNICO pues comprende todo lo relacionado al funcionamiento y operatividad del proyecto, con la posibilidad técnica de implementar y elaborar el compostaje determinando el tamaño, la distribución y los equipos necesarios para el proceso.

3.2.2. Metodología

Es el conjunto de métodos o procedimientos racionales, mediante los cuales se busca cumplir los objetivos en cualquier tipo de investigación, los métodos deductivo, inductivo y experimental son aplicados para dar respuestas a los supuestos que se han planteado y obtener resultados válidos de los mismos.

Método Deductivo

En la investigación el método deductivo nos permite considerar que la conclusión está implícita dentro de las premisas que se encuentran respaldadas mediante la investigación bibliográfica, así sabemos que los residuos vegetales poseen un alto contenido de nitrógeno, entre los que el raquis de palma africana posee un contenido importante de este elemento, por lo tanto, su proceso para la transformación en compostaje puede ser un proyecto viable, este razonamiento deductivo es válido y hace que no haya forma de que la conclusión no sea cierta.

Método Inductivo

El método intermedio permite alcanzar conclusiones generales tomando como punto de partida las hipótesis y antecedentes sobre el estudio, dentro del método se analizó los procesos y la influencia de estos dentro de la elaboración de compostaje, la relación de proceso con el contenido de carbono y nitrógeno, y como debe ser aumentado para que se encuentre dentro de los parámetros indicados. El compostaje puede ser obtenido mediante los tres métodos, proporcionándonos resultados favorables.

Método Experimental

Es el método final, usa como herramienta las premisas de los métodos deductivo e inductivo, además se controla de forma deliberada las variables con el fin de delimitar relaciones entre ellas, el compostaje obtenido a partir de raquis de palma africana se obtuvo mediante la aplicación del conocimiento adquirido en la investigación en la comprobación de las hipótesis; mediante los análisis como herramienta de juicio de valor del proceso completo.

3.2.3. Técnicas

Dentro del proceso de experimentación, las técnicas nos permiten hacer uso de metodologías específicas dentro de la normativa vigente, se siguió la norma de calidad ambiental para el Manejo y Disposición final de desechos sólidos no peligros del libro VI Anexo 6, donde se explica la debida manipulación de los desechos para evitar el riesgo de contaminación y efectos perjudiciales en la salud investigador y personas en general.

Para la caracterización de la materia prima se siguió los procedimientos de la Norma PAS 100 de la British Standard Institution y la Norma NCh 2880 de Chile. El Manual de Compostaje del Agricultor (Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura FAO) se utilizó para la validación del diseño mediante la relación carbono nitrógeno y como punto de partida del proyecto.

3.2.3.1. Técnicas para la caracterización de la materia prima

Se caracterizó el raquis de palma africana que se obtiene de la etapa de desgranado de la Extractora Rio Manso S.A. mediante el uso de las técnicas recopiladas en la Norma PAS 100 de la British Standard Institution, en el Manual de Compostaje del Agricultor se especifica los valores óptimos que debe tener la materia prima para que pueda ser transformada en compostaje. La caracterización fue realizada de los siguientes parámetros: determinación del contenido de humedad, determinación del contenido de materia orgánica, determinación del contenido de carbono, determinación del contenido de nitrógeno, relación C/N, determinación del pH y tamaño de partícula.

Determinación del contenido de humedad

Se realizó según la metodología que dice la norma PAS 100, en la tabla 2-3 se indica a más detalle los procedimientos empleados para la determinación de humedad.

Tabla 2-3: Determinación del contenido de humedad según la norma PAS 100.

Norma	Método	Materiales	Técnica
Norma Británica para medir humedad de materiales orgánicos PAS 100.	BS EN 13040	Crisol. Pinza para crisol. Desecador. Balanza analítica. Estufa. Tamiz. Mortero y pistilo. Agua destilada	Colocar el cristizador en la estufa destapado y dejar secar hasta masa constante. Sacar de la estufa y dejar enfriar en un desecador y medir la masa. Colocar 10 g de muestra dentro de un cristizador tarado y medir la masa. Color el recipiente con la muestra sin tapar en la estufa. Dejar enfriar y medir la masa del cristizador. Registrar.

Fuente: Norma PAS 100, 2018.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Determinación de Materia Orgánica

Esta determinación se realiza de acuerdo a las especificaciones de la tabla 3-3 de la Norma PAS 100.

Tabla 3-3: Determinación del contenido de materia orgánica.

Norma	Método	Materiales	Técnica
Norma Británica para medir materia orgánica en materiales orgánicos PAS 100.	BS EN 13039	Crisol. Pinza para crisol. Desecador. Balanza analítica. Estufa. Tamiz. Mortero y pistilo. Mufla.	Pesar 10g de muestra tamizada a 2 mm. Secar la muestra en el crisol en horno a 105°C hasta peso constante. Dejar enfriar en el desecador. Calcinar la muestra en una mufla a 650-700°C, durante cuatro horas. Se retira la muestra de la mufla y se deja enfriar en el desecador. Pesar de nuevo. Registrar.

Fuente: PAS 100, 2018

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Determinación del porcentaje de Carbono

Se determina dividiendo el porcentaje de materia orgánica para 1,724, valor habitualmente empleado para la conversión de COT a MO.

Determinación del contenido de Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en la muestra es un indicativo importante como punto de partida en la selección de la materia prima a compostar, para su determinación se utilizó el método de Kjeldhal que se detalla en los procedimientos de la Norma PAS 100, especificados en la tabla 4-3 que se muestra a continuación.

Tabla 4-3: Determinación del contenido de nitrógeno

Norma	Método	Materiales	Técnica
Norma Británica para medir el Extracto Libre de nitrógeno de materiales orgánicos PAS 100.	BS EN 13654-1 Kjeldhal	Baño de agua. Matraces Kjeldahl. Balanza analítica. Bureta o pipeta. Probetas graduadas. Aparato de digestión. Aparato de destilación. Sulfato de potasio. Solución de sulfato de cobre. Solución de hidróxido de sodio. Solución indicadora. Solución de ácido bórico. Sulfato de amonio. Titulador automático provisto de pH-metro.	En el matraz Kjeldahl colocar núcleos de ebullición, K ₂ SO ₄ , CuSO ₄ y la muestra preparada. Pesar con ácido sulfúrico. Digestión: Calentar el matraz y su contenido en el equipo de digestión hasta que aparezca un vapor blanco, luego pasados 15 minutos, aumentar el calor a nivel máximo. Destilación: Se añade NaOH a la muestra dentro del matraz Kjeldahl para formar una capa inferior dentro del bulbo del matraz hasta que se cumpla el proceso de destilación. Titulación: Se titula con ácido clorhídrico mediante un bureta. Se titula al parecer la primera traza de color rosado. Registrar.

Fuente: PAS 100, 2018

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Determinación de la relación carbono-nitrógeno

En la Norma Británica PAS 100 se explica el cálculo que consiste en dividir el porcentaje total de carbono para e porcentaje total de nitrógeno. Más adelante se muestran los cálculos de la relación C/N de la materia prima y del compostaje obtenido.

3.2.3.2. Técnicas para la caracterización del compostaje terminado

La Norma NCh 2880 de Chile recomienda la aplicación de los métodos detallados para la caracterización de la materia prima, así que se puede realizar en base a los métodos descritos en cuanto a la humedad, carbono y nitrógeno.

Tabla 5-3: Determinación del contenido de humedad según la norma PAS 100

Norma	Materiales	Técnica
Norma NCh 2880 de Chile para medir humedad del compostaje.	Crisol. Pinza para crisol. Desecador. Balanza analítica. Estufa. Tamiz. Mortero y pistilo. Agua destilada	Colocar el cristizador en la estufa destapado y dejar secar hasta masa constante. Sacar de la estufa y dejar enfriar en un desecador y medir la masa. Colocar 10 g de muestra dentro de un cristizador tarado y medir la masa. Color el recipiente con la muestra sin tapar en la estufa. Dejar enfriar y medir la masa del cristizador. Registrar.

Fuente: Norma NCh 2880, 2018.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Determinación de Materia Orgánica

Tabla 6-3: Determinación del contenido de materia orgánica.

Norma	Método	Materiales	Técnica
Norma NCh 2880 de Chile para medir materia orgánica en el compostaje.	Gravimetría	Crisol. Pinza para crisol. Desecador. Balanza analítica. Estufa. Tamiz. Mortero y pistilo. Mufla.	Pesar 10g de muestra tamizada a 2 mm. Secar la muestra en el crisol en horno a 105°C hasta peso constante. Dejar enfriar en el desecador. Calcinar la muestra en una mufla a 650-700°C, durante cuatro horas. Se retira la muestra de la mufla y se deja enfriar en el desecador. Pesar de nuevo. Registrar.

Fuente: Norma NCh 2880, 2018

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Determinación del porcentaje de Carbono

Se determina dividiendo el porcentaje de materia orgánica para 1,724.

Determinación del contenido de Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en la muestra es un indicativo importante para la determinación de la relación C/N, para su determinación se utilizó el método de Kjeldhal que se detalla en los procedimientos de la Norma NCh 2880, que se muestra a continuación.

Tabla 7-3: Determinación del contenido de nitrógeno

Norma	Método	Materiales	Técnica
Norma NCh de Chile para medir el Extracto Libre de nitrógeno del compostaje.	Método de Kjeldhal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baño de agua. ▪ Matraces Kjeldahl. ▪ Balanza analítica. ▪ Bureta o pipeta. ▪ Probetas graduadas. ▪ Aparato de digestión. ▪ Aparato de destilación. ▪ Sulfato de potasio. ▪ Solución de sulfato de cobre. ▪ Solución de hidróxido de sodio. ▪ Solución indicadora. ▪ Solución de ácido bórico. ▪ Sulfato de amonio. ▪ Titulador automático provisto de pHmetro. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En el matraz Kjeldahl colocar núcleos de ebullición, K_2SO_4, $CuSO_4$ y la muestra preparada. Pesar con ácido sulfúrico. ▪ Digestión: Calentar el matraz y su contenido en el equipo de digestión hasta que aparezca un vapor blanco, luego pasados 15 minutos, aumentar el calor a nivel máximo. ▪ Destilación: Se añade NaOH a la muestra dentro del matraz Kjeldahl para formar una capa inferior dentro del bulbo del matraz hasta que se cumpla el proceso de destilación. ▪ Titulación: Se titula con ácido clorhídrico mediante un bureta. Se titula al parecer la primera traza de color rosado. ▪ Registrar.

Fuente: Norma NCh 2880, 2018

Realizado por: David Riquelme, 2018.

3.2.4. Procedimientos a nivel del laboratorio y de la planta

3.2.4.1. Caracterización de la materia prima

Mediante el uso de las técnicas detalladas en la Norma PAS 100, se caracterizó el raquis de palma africana junto con el agua de la laguna de oxidación previo a su tratamiento, se dispuso de una cantidad determinada para su análisis y estos fueron repetidos seis veces para verificar los datos.

En el laboratorio de la planta se determinó los valores de humedad, pH y temperatura como se detalla a continuación:

Tabla 8-3: Caracterización de la materia prima en el laboratorio

Variable	Valor
Contenido de Humedad (%)	49.58
Ph	8.12
Temperatura (°C)	42.9
Tamaño de Partícula (cm)	Entre 5 y 15

Realizado por: David Riquelme, 2018.

La determinación de los contenidos de materia orgánica y nitrógeno se puede constatar en el anexo E y los valores son detallados a continuación.

Tabla 9-3: Porcentajes de carbono y nitrógeno

Variable	Valor
Porcentaje de carbono (%)	61.75
Extracto Libre de nitrógeno (%)	2.01

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Se hizo los análisis y los valores escritos son el promedio, por lo general, los valores de humedad no se alejaron del valor referencial, el porcentaje de carbono es de 61.75% lo que nos dice que la capacidad de la materia prima de convertirse en compostaje es adecuada en comparación con el porcentaje de nitrógeno. El pH se encuentra dentro de los valores de referencia y el tamaño de partícula debe ser reducido.

De acuerdo con los valores obtenidos, el raquis de palma africana cumple las condiciones requeridas para ser utilizado como materia prima para el compostaje.

Durante el proceso de extracción de aceite de palma africana se producen aguas residuales que poseen un alto contenido de materia orgánica, de aceites y grasas que suelen ser recuperados, para que el contenido de humedad se mantenga dentro de los parámetros se puede hacer uso de los efluentes contenidos en las lagunas de oxidación. Durante el proyecto, en la planta estuvieron habilitadas cuatro de estas lagunas de las cuales se hizo los siguientes análisis.

Tabla 10-3: Caracterización de los efluentes en las lagunas

	DQO (mg/Lt)	Aceites y Grasas (mg/Lt)	Sólidos Totales (mg/Lt)
Laguna 1	58000	45420	58620
Laguna 2	8640	5540	14820
Laguna 3	2080	3720	13560
Laguna 4	2010	1790	5840

Realizado por: David Riquelme, 2019.

En base a estos análisis, las características de la laguna 4 son las más adecuadas para la elaboración del compostaje, debido alto contenido de materia orgánica del raquis de palma africana.

3.2.4.2. Relación de carbono-nitrógeno en la materia prima

La materia prima para la elaboración de compostaje está en una relación de 5 a 1, es decir, por cada 5 partes de raquis se añade una parte de agua de la laguna de oxidación, esto se especificará más a detalle en el balance de masa. Para el cálculo de la relación es necesaria la determinación del porcentaje de carbono presente en las muestras, mediante el porcentaje de materia orgánica y la ecuación de Walker y Black realizamos el cálculo.

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = \% \text{ de Carbono} \times 1,724 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\% \text{ Carbono} = \frac{\% \text{ Materia Orgánica}}{1,724} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\% C = 61.74$$

$$\% N = 2.01$$

$$\frac{C}{N} = \frac{61.74}{2.01}$$

$$\frac{C}{N} = 30.72$$

3.2.4.3. Caracterización del compostaje

Mediante el uso de las técnicas detalladas en la Norma NCh2880 se caracterizó el compostaje obtenido a partir del raquis de palma africana. En el laboratorio de la planta se determinó los valores de humedad, pH y temperatura, obteniendo los valores indicados a continuación.

Tabla 11-3: Caracterización del compostaje final en el laboratorio

Variable	Valor
Contenido de Humedad (%)	30.90
pH	8.45
Temperatura (°C)	30
Tamaño de Partícula (cm)	Menor a 1

Realizado por: David Riquelme, 2019.

La determinación de los contenidos de materia orgánica y nitrógeno se puede constatar en el anexo F y los valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12-3: Porcentajes de carbono y nitrógeno

Variable	Valor
Contenido de carbono (%)	31.35
Extracto Libre de nitrógeno (%)	1.28

Realizado por: David Riquelme, 2018.

3.2.4.4. Relación de carbono-nitrógeno del compostaje

La relación C/N se hace en base a la ecuación de Walker y Black, utilizada en el cálculo anterior de la materia prima.

$$\% C = 31,36$$

$$\% N = 1,28$$

$$\frac{C}{N} = \frac{31,35}{1,28}$$

$$\frac{C}{N} = 24,5$$

3.2.4.5. Determinación del flujo de residuos de raquis

La Extractora Rio Manso Exa S.A produce en promedio unas 7 toneladas de raquis prensado por semana, lo que equivale a 7000 Kg/semana, la producción de raquis puede variar cada semana dependiendo de la cantidad fruta de palma procesada y de la temporada del año de cosecha, el peso promedio ha sido obtenido a partir de información recabada durante los últimos tres meses por técnicos de la planta.

3.2.4.6. Etapas y operaciones para el proceso de compostaje

El procedimiento para obtener compostaje a partir de raquis se detalla a continuación.

Recepción de la materia prima: El raquis es transportado mediante el uso de camiones a lugares alejados de las zonas de trabajo, se pueden hacer entre 3 y 4 viajes por semana. Para la recepción debe existir un lugar determinado en donde inicialmente se descargará la materia prima. El volumen del material debe estar acorde al área donde se realiza la recepción, además este sitio debe permitir una fácil limpieza y se debe evitar el ingreso de la lluvia, puesto que puede modificar las características que buscamos en definitiva para el compostaje.



Fotografía 1-3: Recepción de la materia prima.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Homogenización: Es el proceso que consiste tanto en mezclar, como en triturar los materiales de mayor tamaño dentro de la pila, esto facilita el incremento del área específica, se hace uso de una trituradora de materia orgánica.

Tabla 13 -3: Características de la homogenización.

Estructura de la mezcla previa	Influye en la porosidad que posee la pila de compostaje.
Humedad	Influye en la actividad microbiológica.
Relación C/N	Para evitar posibles reducciones de nitrógeno que puedan limitar el procedimiento.
pH	Favorece el adecuado funcionamiento de los microorganismos.
Cantidad de materia orgánica	Debe estar en una porción adecuada para el correcto funcionamiento a lo largo del proceso.
Porosidad	Permite la retención de agua y también una correcta aireación de las pilas.
Cantidad de otros elementos	Influyen en aspectos relacionados a la actividad microbiológica.

Fuente: Guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje; AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA, 2016

Realizado por: David Riquelme, 2018.



Fotografía 2-3: Homogenización.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Trituración: La trituración se debe realizar haciendo uso de una trituradora de materia orgánica, el objetivo es reducir el tamaño de partícula.



Fotografía 3-3: Trituración del raquis.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Formación de las pilas de compostaje: El material triturado con la ayuda de una cargadora frontal se transporta para ser ubicado en formar de pilas, se considera un espacio pertinente entre pilas para facilitar los volteos.



Fotografía 4-3: Formación de las pilas de compostaje,

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Volteos: Se realizan para mejorar la aireación de la materia prima. Durante el todo el proceso de maduración, que es alrededor de tres meses, se deben realizar volteos al menos dos veces por semana. La incorporación de líquidos se realiza para controlar el porcentaje de humedad se puede utilizar el método de puño. También se pueden añadir líquidos ricos en nitrógeno para disminuir una relación C/N muy alta. El secado se lleva a cabo durante los volteos que se realiza al compostaje.



Fotografía 5-3: Volteo.

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Descomposición: Etapa dentro del proceso de elaboración de compostaje en la que se degradan o descomponen aquellas estructuras biológicas más sencillas, lo que a su vez produce una liberación energética en forma de calor, una considerable reducción del volumen y peso de las pilas de compostaje debido a la evaporación del agua contenida en estas y una reducción en el pH debido a que se forman ácidos de tipo orgánico. En esta etapa debemos asegurarnos que las pilas en descomposición cuenten con suficiente aireación con el fin de estimular la actividad de los microorganismos.

Maduración: Es la parte final dentro del proceso de compostaje, en donde se produce en mayor cantidad un material fina con características semejantes a sustancias húmicas presentes en el suelo. A pesar de que en la etapa anterior se produjo un importante grado de descomposición, en la maduración del compostaje aún se da cierto grado de degradación, aunque en menor grado, esto podemos apreciarlo debido a que no existe un consumo alto de oxígeno, y por lo tanto, no hay una gran liberación de energía en forma de calor.

Con la disminución de la actividad de los microorganismos, el control en esta etapa es menos arduo en comparación a etapas anteriores, sin embargo se debe prestar atención a las situaciones que se detallan a continuación. (Cataluña, 2016).

Cribado: El cribado es un proceso que se puede llevar a cabo también en las etapas de descomposición y maduración, depende del tipo de material y por lo general, se realiza para separar materiales impropios lo que a su vez ayuda a evitar posibles daños en las instalaciones y en los equipos destinados para el compostaje; el cribado es importante para evitar que el producto final tenga un alto grado de impurezas en su estructura. (Cataluña, 2016).



Fotografía 6-3: Cribado.

Fuente: Diseño de una planta de compostaje a partir de los residuos orgánicos de mercados, Paola Tipán 2016.

Almacenamiento del compostaje: Esta etapa comprende el tiempo entre el final de los procesos operativos en la elaboración de compostaje y la salida del mismo de las instalaciones.

Tabla 14-3: Fases y características del almacenamiento

Fases	Trasporte del material desde la zona de postratamiento. Almacenamiento. Salida del producto.
Duración	Para compostaje maduro que será utilizado en actividad agrícola su capacidad de almacenamiento será de dos meses como mínimo. Para compostaje fresco también usado en actividad agrícola tendrá un tiempo de dos semanas. Si el compostaje no es apto en actividades de agricultura su tiempo de almacenaje será de dos semanas.
Características del almacén	Como el producto final se encuentra estabilizado no hace falta el confinamiento en esta etapa. El almacén puede ser cubierto o no. Esto depende de si la lluvia puede interferir en la calidad del producto.

Fuente: Guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje; AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA, 2016.

Realizado por: RIQUELME, David 2018.

3.2.4.7. Variables del proceso

Se determinan las variables del proceso para el control de la actividad productiva, son variables dependientes del proceso el pH, la concentración de nitrógeno y de carbono, las demás variables son independientes. A continuación se indica información con más detalle.

Tabla 15-3: Variables del proceso de compostaje

Variable	Concepto	Método	Etapa	Parámetro
Humedad	Cantidad de agua o vapor presente en un cuerpo o en el aire.	Higrómetro	Maduración	45 – 60 %
Temperatura	Magnitud referida al calor medible de un cuerpo o del ambiente.	Termómetro	Maduración	45°C (Mesófila) 45 - 70°C (Termófila) 70°C-°T ambiente (Mesófila II)
Tamaño de la Partícula	Tamaño de las partículas que van a servir de compostaje.	Medición	Triturado	5 – 30 cm
pH	Coeficiente que mide el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.	Potenciómetro	Maduración	6,5 – 8,5
Nitrógeno Base Seca	Contenido de extracto libre de nitrógeno.	Método de Kjeldahl	Cribado	Alrededor del 1%
Materia Orgánica	Porcentaje de materia orgánica en la muestra.	Gravimetría	Cribado	Mayor al 20%
Relación C/N	Indica la potencialidad del compostaje para transformar la materia orgánica en nitrógeno.	Ecuación de Walker y Black	Compostaje Final.	15.1 – 35.1

Realizado por: David Riquelme, 2019.

3.2.5. Cálculos y diseño para la planta de compostaje

3.2.5.1. Balance de masa

Mediante el balance de masa podremos obtener una estimación de la cantidad de compostaje obtenido al final del proceso, previamente vamos a considerar las posibles pérdidas o ganancias que se generan durante el proceso.

Triturado: Tomando en cuenta que el triturado es un cambio físico de la materia, no existirá pérdida de peso; la cantidad de material que ingresa es igual a la cantidad que sale.

Formación de las pilas y degradación: Ambos procesos pueden ser considerados como una operación unitaria, esto se debe a que el proceso de degradación se realiza sin la interferencia de operadores, sino de los microorganismos degradantes.

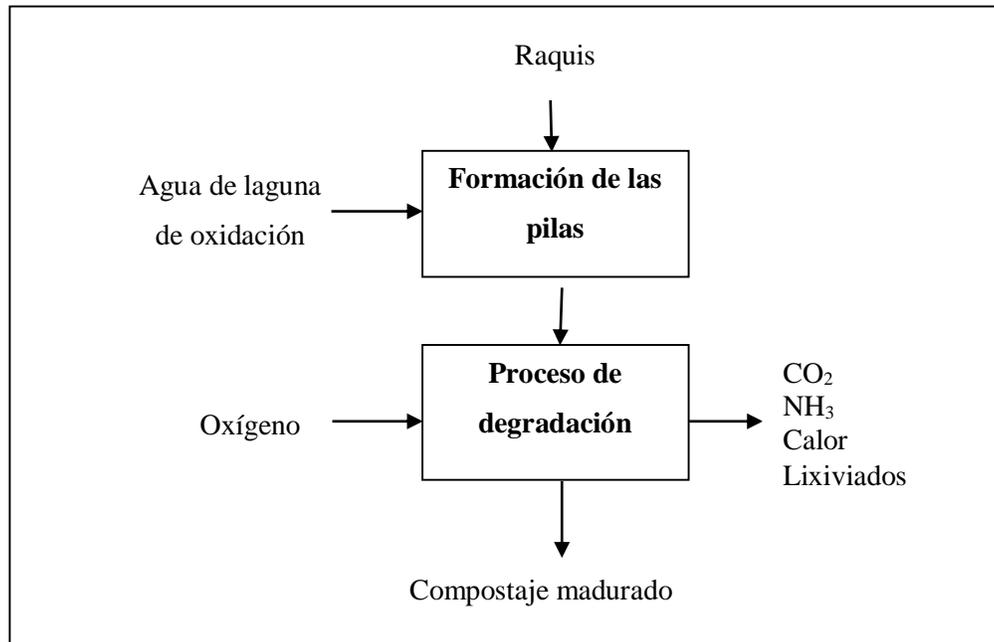


Gráfico 1-3: Formación de las pilas y degradación.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Secado: La operación de secado se realiza mediante el volteo de las pilas de compostaje, durante las tres primeras semanas se lleva a cabo el volteo cada tres días, pues la cantidad de agua retenida es mayor. Durante la primera semana se pudo apreciar una mayor cantidad de disminución de humedad en las pilas de compostaje.

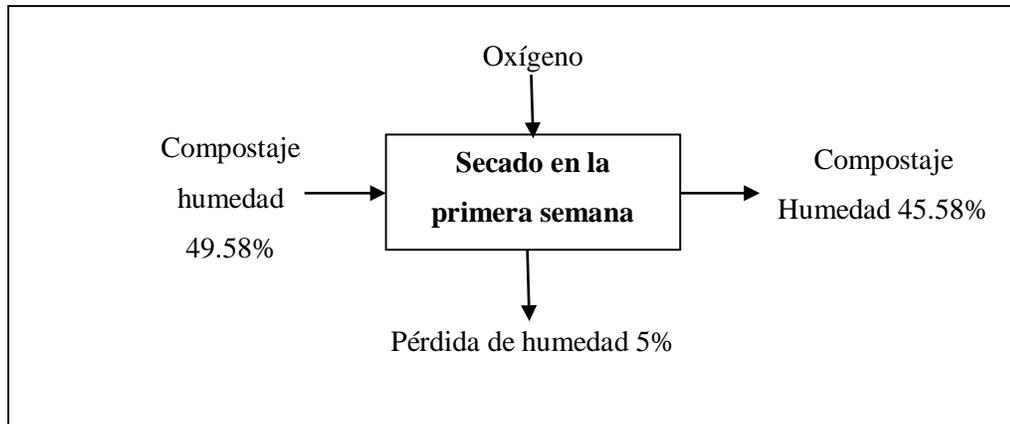


Gráfico 2-3: Cambio en la humedad de la primera semana

Realizado por: David Riquelme, 2019.

La operación puede llegar a liberar hasta un 50% del peso inicial del material debido a la pérdida de humedad y materia orgánica. (Miriam A. & Cristina C. Manual de compostaje, Barcelona 2000).

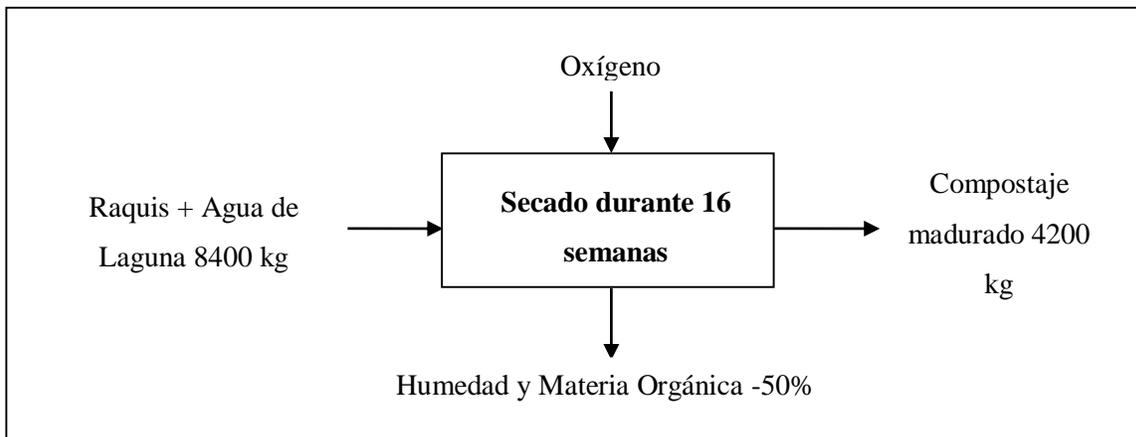


Gráfico 3-3: Pérdida de peso de las pilas en 16 semanas.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Cribado: Para la obtención del producto final se debe realiza el proceso de cribado, en donde el compostaje madurado es separado de material orgánico que no ha llegado a degradarse.

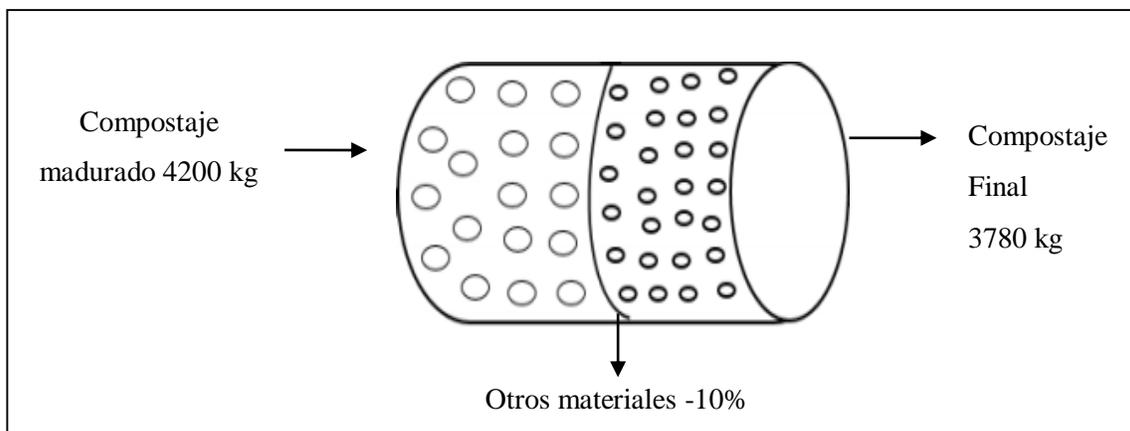


Gráfico 4-3: Cribado

Realizado por: David Riquelme, 2019.

3.2.5.2. Diseño de las pilas de compostaje

Para llevar a cabo el diseño de la planta de compostaje se ha determinado la cantidad de raquis que se produce como desecho dentro del proceso de producción de aceite de palma africana, los datos recolectados nos serán útiles como punto de partida en los cálculos referentes a las dimensiones que tendrán las pilas de compostaje, la superficie que será requerida como sitio de trabajo tomando en consideración en tiempo de formación del compostaje que es de aproximadamente tres meses. Se ha decidido implementar un sistema de pilas de compostaje estáticas debido a que la planta cuenta con áreas adecuadas para la instalación de una planta que sea fija y que se pueda ampliar en caso de ser necesario debido a una mayor producción de raquis de palma africana.

Densidad del raquis: Para la determinación de la densidad se hizo uso de un recipiente de tipo cilíndrico con volumen de 200 litros y un peso de aproximadamente 6 kilos.

Tabla 16-3: Datos para la determinación de la densidad del raquis

Días de recolección	Peso Recipiente Vacío (Kg)	Peso del Recipientes + Raquis (Kg)	Peso del Raquis (Kg)
1	6.2	54.8	48.6
2	6.2	55.1	48.9
3	6.2	55.4	49.2
4	6.2	54.6	48.4
5	6.2	55.0	48.8

Realizado por: David Riquelme, 2018.

Para realizar el cálculo del promedio de pesos utilizamos la ecuación 3.

$$\text{Peso Promedio} = \frac{\text{Peso 1} + \text{Peso 2} + \text{Peso 3} + \text{Peso 4} + \text{Peso 5}}{\text{Número de días}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Peso Promedio} = \frac{48,6 + 48,9 + 49,2 + 48,4 + 48,8}{5}$$

$$\text{Peso Promedio} = 48,8 \text{ kg}$$

La densidad se obtiene dividiendo el peso promedio calculado para el volumen del recipiente (ecuación 2).

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso promedio (kg)}}{\text{Volumen recipiente (m}^3\text{)}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Volumen Recipiente } 200 \text{ L} * \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,2\text{m}^3$$

$$\text{Densidad} = \frac{48,8 \text{ kg}}{0,2 \text{ m}^3}$$

$$\text{Densidad} = 244 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Cálculo del largo de la pila: Previo a este cálculo, obtenemos el volumen total dividiendo la cantidad de materia inicial de 7000 kg de raquis para la densidad de 244 kg/m³ obteniendo un volumen de 28,7 m³. Como debe existir un amortiguamiento en la planta se hace un incremento del 10% que es 2,87 m³, el volumen total será de 31,57 m³. Se desean tres pilas de compostaje, así que dividimos para tres el volumen resultando 10,52 m³, este valor es el volumen que corresponde a cada pila.

$$\text{Largo} = \frac{\text{Volumen}}{\pi * \text{Altura} * \text{Ancho}} * 2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Largo} = \frac{10,52\text{m}^3}{\pi * 1,5 \text{ m} * 2 \text{ m}} * 2$$

$$\text{Largo} = 2,23 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones de las pilas de compostaje son:

Largo: 2,5 m

Ancho: 2 m

Altura: 1,5 m

3.2.6. Resultados

3.2.6.1. Resultados de la obtención del compostaje

Los resultados que se detallan a continuación se relacionan al proceso de transformación de la materia prima a compostaje, los valores se midieron hasta que estos fueron constantes como se explica en cada caso a continuación.

Humedad: Durante el proceso de compostaje que tiene una duración de 16 semanas se puede apreciar una disminución de la humedad, la materia prima que es el raquis se obtiene del proceso de producción de palma africana tiene un contenido de humedad que fue disminuyendo con el tiempo, el parámetro fue controlado semanalmente y se puede apreciar en el siguiente gráfico.

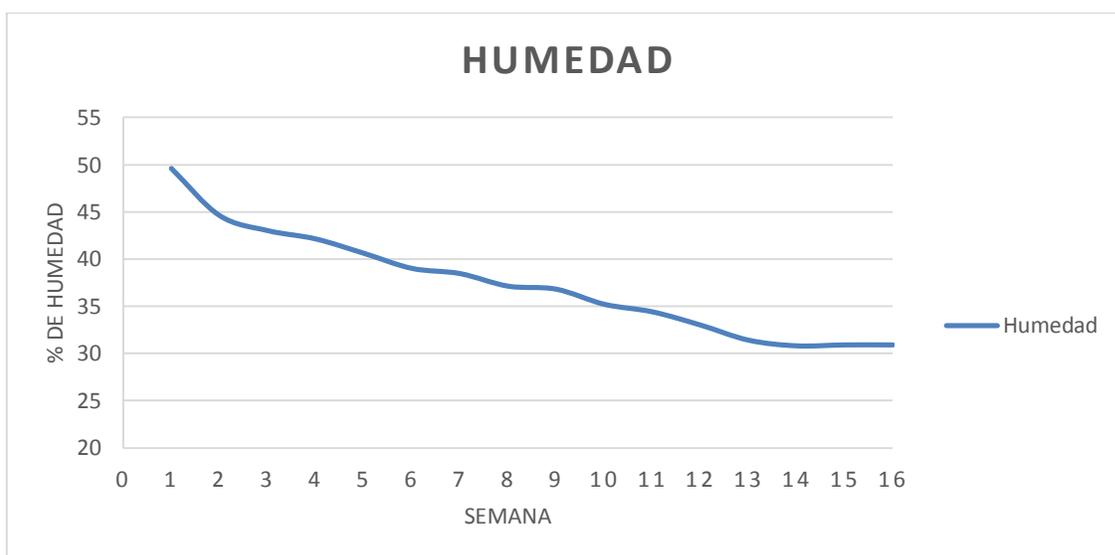


Gráfico 5-3: Cambio en la humedad durante el proceso de compostaje.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Durante las cuatro primeras semanas el raquis tuvo un descenso de aproximadamente de entre el 7 y 10% de humedad, siendo este un valor adecuado para la elaboración de compostaje, se controló el parámetro añadiendo el agua de las lagunas de forma moderada, de una a dos veces por semana, mediante el método del puño se tuvo una idea de cuanta cantidad de líquido se debía agregar, desde la semana 15 en adelante la humedad se estabilizó en un valor de 30,9%, el mismo que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

pH: Durante la caracterización el pH inicial se encontraba dentro de los parámetros indicados y el compostaje final tuvo un pH ligeramente más alto al de la materia prima como se detalla en la gráfica siguiente.

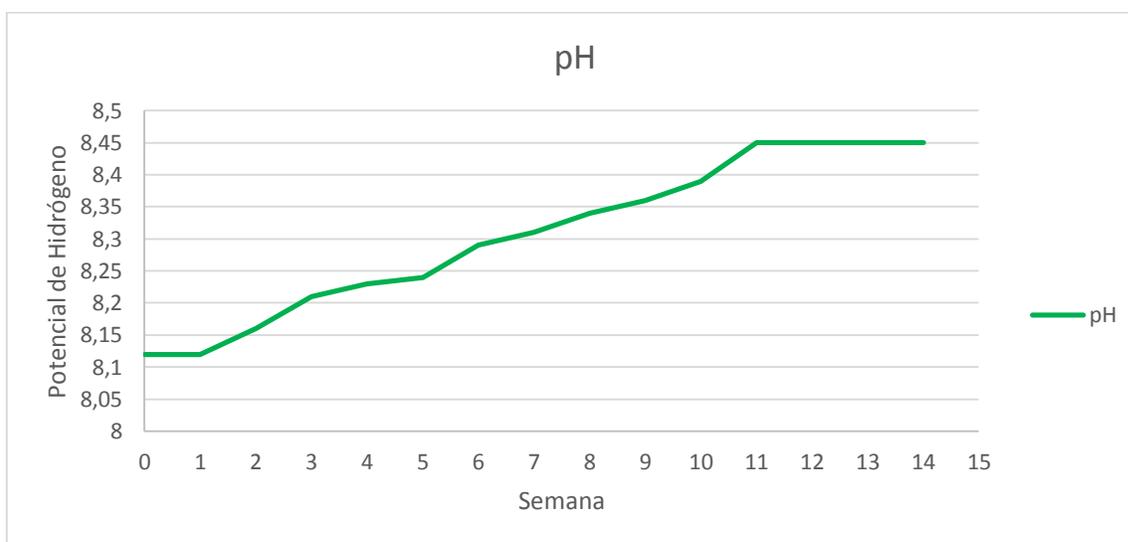


Gráfico 6-3: Cambio del pH durante el proceso de compostaje.

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Durante las 16 semanas del proceso de compostaje, el pH se mantuvo en un rango de entre 8 y 8,5, la alcalinidad no tuvo una variación drástica y partir de la semana 11 se estabilizó en un valor de 8,45.

Temperatura: El proceso de compostaje se divide en varias etapas que fueron detalladas anteriormente y en el gráfico siguiente se puede notar los aumentos y descensos de temperatura existentes, propios de las distintas etapas del compostaje.

Desde el inicio del proceso hasta la semana 3 se puede apreciar al etapa mesófila, y partir de aquí hacia la semana 6 la temperatura llega hasta los 54°C debido al aumento de la actividad microbiológica que se da durante la etapa termófila. A partir de este punto la temperatura desciende de forma considerable debido a la disminución de las fuentes de carbono y nitrógeno hasta estabilizarse en la semana 14 donde la temperatura fue constante a 30°C.

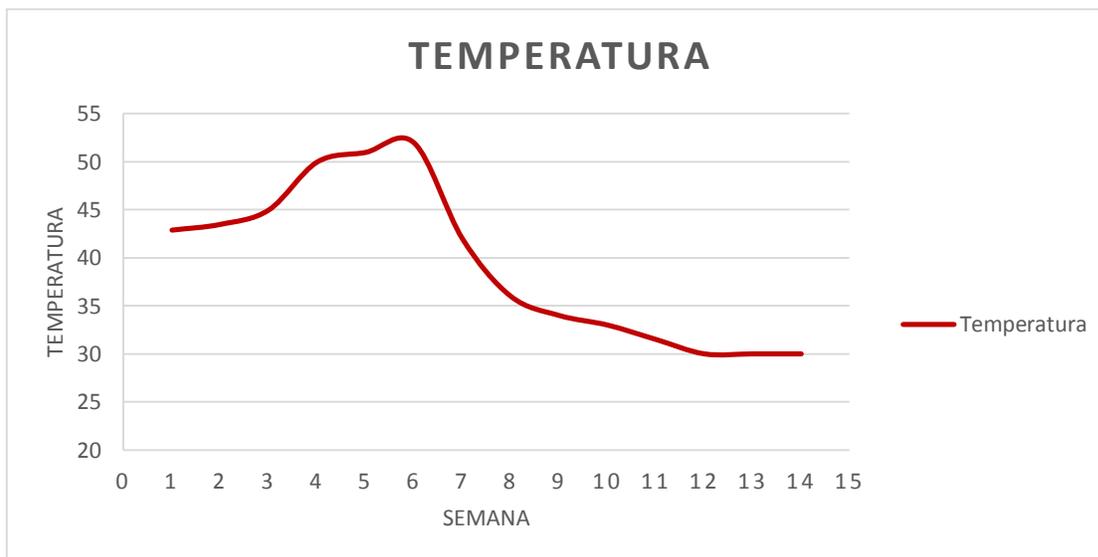


Gráfico 7-3: Cambio de temperatura durante el proceso de compostaje.
Realizado por: David Riquelme, 2019.

3.2.6.2. Resultados relación carbono nitrógeno del raquis y del compostaje

En base a los datos obtenidos de las tablas 9-3 y 11-3 se realizó el cálculo de la relación C/N para la materia prima y el compostaje final, obteniendo los valores indicados a continuación.

Tabla 17-3: Resultados de la relación C/N de la materia prima y el compostaje

	Materia Prima	Compostaje Final
Contenido de Nitrógeno (%)	2.01	1.28
Contenido de Carbono (%)	61.75	31.36
Relación C/N	30.72	24.5

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Con la caracterización del compostaje obtenido se puede validar el diseño de la planta compostaje, los valores obtenidos se encuentran dentro del valor de referencia. La relación C/N se encuentra en el rango ideal, y puede ser utilizado en diversos sectores de la producción agrícola.

La temperatura del compostaje es la temperatura ambiente y puede variar de acuerdo a donde se lo utilice, el pH es ligeramente alcalino y el porcentaje de humedad es el adecuado según el Manual de Compostaje del Agricultor (FAO).

3.3. Proceso de Producción

3.3.1. *Materia prima e insumos*

Tabla 18- 3: Materia prima requerida para la producción de compostaje.

Materia Prima	Cantidad
Raquis de palma africana	7000 kg
Efluentes provenientes de las lagunas	1400 kg

Realizado por: David Riquelme, 2018.

El raquis de palma es un subproducto sólido de la producción de aceite de palma africana y de palmiste, estos racimos son llevados a la planta para extraer el fruto por camiones dedicados a la venta de las zonas aledañas, los efluentes son líquidos donde se encuentran cantidades importantes de aceites y grasas que suelen ser recuperados, los efluentes utilizados son los de la laguna 4 de oxidación debido a su bajo contenido de sólidos totales y de aceites en comparación con las primeras lagunas.

3.3.2. Diagrama del proceso

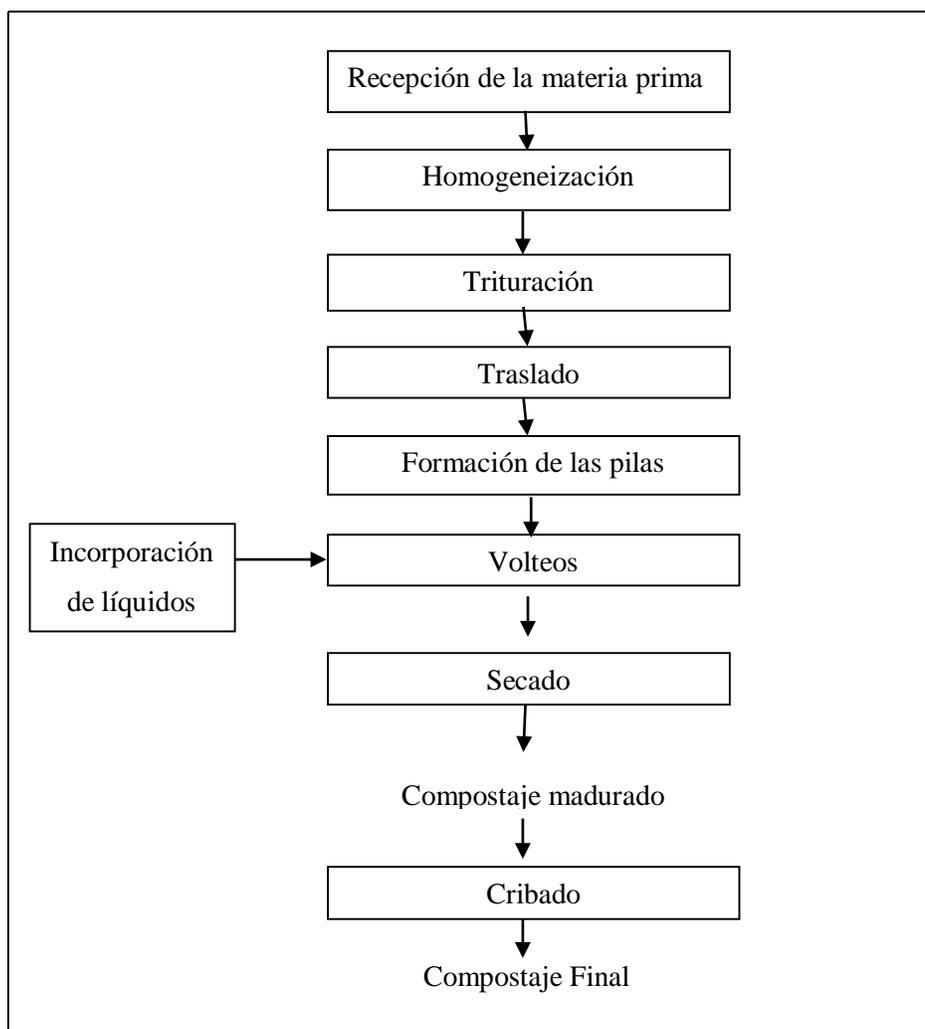


Gráfico 8-3: Proceso de producción

Realizado por: David Riquelme, 2018.

3.3.3. Descripción del proceso de compostaje

Recepción de la materia prima: El raquis que sale después de la etapa de desgranado en la obtención de aceite de palma africana se transporta al área de recepción en la planta. Debe pesarse el camión vacío y lleno para saber la cantidad de raquis con la que se va a trabajar. El raquis debe ser esparcido y secado durante 48 horas. Durante este tiempo se retiran posibles materiales impropios que pueda contener la materia prima.

Homogenización: cuando el material se halla secado y suavizado, se procede despedazar los racimos a un diámetro de alrededor de 30 centímetros. Esto se hace para facilitar su ingreso en la trituradora de materia orgánica. El raquis se convierte en fibras en su mayor parte.

Trituración: El raquis se reduce un diámetro menor de 3 cm. Previo al ingreso a la trituradora de materia orgánica, se verifica la presencia de materiales plásticos y se los separa. Cualquier material que no sea raquis debe ser separado.

Traslado: Dentro de la planta existe una zona en donde se llevará a cabo el proceso de compostaje, y allí es donde el material triturado será colocado. El traslado puede hacerse con la ayuda de una mini cargadora frontal, en caso de no contar con una se puede utilizar carretillas, pero es recomendable el uso de la mini cargadora, el terreno donde está la planta debe ser adecuada para maniobrar maquinaria.

Formación de las pilas: se forman en un área con buena ventilación, las pilas de compostaje debe tener una distancia adecuada una de otra, para de esta forma facilitar los volteos y la incorporación de líquidos. Las dimensiones de la pila fueron adecuadas para una cantidad de 7000 kg de raquis que ingresa a la planta.

Volteo: los volteos se realizan semanalmente. El proceso de elaboración de compostaje dura entre 12 o 16 semanas y se deben realizar volteos al menos hasta la semana 10, es importante hacerlos para mejorar la aireación. Si el material parece seco se añaden sustancias ricas en líquidos, puede utilizarse el agua de las lagunas de oxidación o agua común. Durante las semanas del proceso, se puede apreciar una disminución del volumen de las pilas.

Secado: El material se deja secar durante 16 semanas, aquí también se da una importante pérdida del volumen, después de tres meses, el compostaje se estabiliza y la humedad es más constante.

Cribado: el compostaje madurado es pasado a través de la rejilla metálica de la máquina de cribado, que ayuda a separar material que haya quedado demasiado grande y que no se halla degradado bien.

Envasado: El compostaje final es colocado en sacos de 25 kg, donde son cocidos y etiquetados.

Almacenamiento: Los sacos de compostaje son almacenados en un área preferentemente cubierta, donde no haya cambios bruscos de humedad, de aquí sale para su comercialización.

3.3.4. Capacidad de producción

Durante el diseño de las pilas de compostaje se hizo el cálculo para que la materia prima se disponga en tres pilas de compostaje, después de las 16 semanas que tarda el proceso y cuando ya se ha separado todo material impropio o que no se halla degradado, la cantidad final obtenida es de 3780 kg.

Debido a que el ingreso de la materia prima es semanal, en el dimensionamiento de la planta se ha considerado un espacio para la disposición de doce pilas de compostaje, esto va permitir aumentar la capacidad de producción de la planta, mensualmente ingresan 28 toneladas de materia prima y de esta cantidad se obtienen 15120 kg de compostaje cada cuatro meses.

3.3.5. Propuesta para la utilización del compostaje.

El compostaje obtenido puede ser utilizado en cultivos aledaños por la facilidad que conlleva la cercanía, la Extractora Rio Manso produce grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos y su transformación en compostaje puede satisfacer los cultivos y mejorar la producción. El producto final puede ser comercializado, se debe controlar ciertos parámetros debido al traslado.

También se ha hecho la propuesta de cavar zanjas donde el compostaje obtenido pueda ser almacenado a largo plazo, en caso de que la demanda se haya cumplido. De esta forma el compostaje se encontrará a disposición inmediata.

3.3.6. Distribución y dimensionamiento de la planta

La planta de compostaje ocupará un área de 235 metros cuadrados, preferentemente ha de ser construida sobre un terreno plano y con capacidad de expandir las instalaciones si el tiempo lo dictamina. Las áreas requeridas se detallan a continuación.

Área de recepción de materia prima: Aquí es donde ingresan los camiones con el raquis, los camiones son pesados y se mide la diferencia para saber con cuanto raquis se está trabajando.

Área de homogenización: El raquis es reducido a un tamaño adecuado para su procesamiento, en el área se separan materiales de tamaño considerable que no sea la materia prima.

Área de trituración: se considera un espacio para la trituradora de materia orgánica y para que el operario de modo que pueda trabajar correctamente.

Área de maduración de compostaje: Es el espacio utilizado para la formación de las pilas y su correcta manipulación, se considera el espacio para el desplazamiento cómodo de los operadores.

Área de cribado: En donde se reduce el tamaño de partícula a un diámetro inferior a 1 cm, se debe tomar en cuenta un espacio para el equipo de cribado.

Área de envasado: El compostaje es puesto en sacos, estos sacos se cosen y etiquetan.

Área de almacenamiento: el almacenamiento debe hacerse en un espacio amplio y cubierto. La humedad no debe fluctuar de forma intempestiva y debe estar ubicada en un lugar que de facilidad de acceso a los camiones.

Área de maquinaria: Se refiere principalmente a los equipos móviles tales como montacargas, cargadoras frontales, etc. Preferentemente será un área cubierta, donde la lluvia no oxide el metal.

Área de herramientas: Debe ser un lugar cerrado y de fácil acceso para los operarios.

Tabla 19-3: Áreas requeridas para la planta de compostaje

Parámetro	Dimensiones Largo/Ancho (m)	Área requerida (m²)
Área de recepción	4 x 5	20
Área de homogenización	6 x 5	30
Área de trituración	4 x 5	20
Área de maduración	2 x 40	80
Área de cribado	5 x 5	25
Área de lixiviados	1x5	5
Área de envasado	3 x 4	12
Área de almacenamiento	6 x 5	30
Área de maquinaria	3 x 3	9
Área de herramientas	3 x 3	9

Realizado por: David Riquelme, 2019

La planta de compostaje requiere de un área total de 240 metros cuadrados.

3.4. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Para el diseño de la planta de compostaje, la capacidad de los equipos y la estructura básica se basará principalmente en la producción del compostaje que se ha estimado y el tiempo de uso, así entre los equipos tenemos los siguientes.

Tabla 20-3: Requerimientos de tecnología, equipo y maquinaria

Equipo	Función	Cantidad
Trituradora de Materia Orgánica	Reducir el tamaño de la partícula	1
Mini Cargadora Frontal	Cambio de la ubicación	1
Cribadora	Cribar el compostaje madurado	1
Báscula en Plataforma	Pesaje	1
Termómetro para suelos	Determinar la temperatura	1
pH-metro	Determinar el potencial de hidrógeno	1
Higrómetro	Controlar la humedad	1
Carretillas	Transportar racimos triturados	4
Palas	Remoción de racimos triturados	6

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Para el análisis de costos que se va a realizar a continuación se ha considerado solo los equipos con los que la planta no cuenta, puesto que la mini cargadora frontal es un equipo necesario para el traslado de los frutos de palma dentro de la planta y la compañía cuenta con este tipo de maquinaria.

3.5 Análisis de costos

3.5.1 Costos generados para la producción de compostaje

Considerando que la empresa cuenta con ciertos equipos necesarios para el proceso de compostaje que fueron descritos en el punto anterior, para el análisis de costos solo se considerarán los equipos e implementos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21-3: Costo de maquinaria y equipos para el compostaje

Equipo	Cantidad	Valor Unitario (dólares)	Valor Total (dólares)
Trituradora de Materia Prima	1	2,500.00	2,500.00
Cribadora	1	2,500.00	2,500.00
Báscula de plataforma	1	150.00	150.00
pH-metro	1	30.00	30.00
Higrómetro	1	30.00	30.00
Termómetro	1	20.00	20.00
Carretilla	4	50.00	200.00
Pala	6	15.00	90.00
TOTAL			5,520.00

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Tabla 22-3: Depreciación de los equipos

Equipo	Precio Unitario (dólares)	Vida útil del equipo	Porcentaje de depreciación	Porcentaje de depreciación anual
Trituradora	2,500.00	20 años	5%	125.00
Cribadora	2,500.00	12 años	5%	125.00
Báscula de plataforma	150.00	12 años	5%	7.50
TOTAL				257.50

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Los costos de mano de obra son indispensables para la obtención de compostaje, se requieren de tres operarios encargados de hacer uso de la maquinaria y de las herramientas, además de cumplir con las operaciones necesarias.

Tabla 23-3: Costos de Mano de Obra

	Número de Operarios	Salario Mensual (dólares)	Salario Anual Individual(dólares)	Salario Total (dólares)
Mano de Obra	3	386,00	4.632,00	13.896,00

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Además, los operarios necesitan equipos de protección personal, siendo el raquis un material nocivo y de bajo riesgo en su manipulación, se debe hacer uso del equipamiento básico que se muestra a continuación.

Tabla 24-3: Costo de equipos de protección personal

Equipo	Cantidad	Precio Unitario (dólares)	TOTAL
Overol	3	25,00	75,00
Casco	3	12,00	36,00
Guantes (pares)	12	2,00	24,00
Mascarilla	24	1,00	24,00
TOTAL			159,00

Realizado por: David Riquelme, 2019.

Para el envasado se requiere de ciertos materiales, tales son los sacos de polietileno y el hilo para coserlo de forma hermética. La empresa puede añadir su logotipo para reconocerlo como material de elaboración propia.

Tabla 25-3: Costos de envasado del compostaje

Descripción del Producto	Unidad de Medida	Cantidad requerida al mes	Costo Unitario (dólares)	Costo Mensual (dólares)	Costo Anual (dólares)
Sacos	Unidad	600	0,25	150	1,800.00
Hilo	Metros	600	0,04	20	240.00
Logotipo	Unidad	600	0,25	150	1,800.00
TOTAL					3.840,00

Realizado: David Riquelme, 2019.

Tabla 26-3: Costos Totales

Costos	Valor (dólares)
Costos de Equipo y Maquinaria	5.520,00
Costos de Mano de Obra por año	13896,00
Costos de equipos de protección personal	159,00
Costos de envasado	3.840,00
TOTAL	23.415,00

Realizado: David Riquelme, 2019.

3.5.2 Ganancias generadas en la producción de compostaje

Tabla 27-3: Determinación de las ganancias en la comercialización de compostaje

Producto	Cantidad producto cada 4 meses (kg)	Número de sacos con compostaje de 25 kg	Margen de Utilidad (%)	Costo estimado por saco dólares	Ingresos cada cuatro meses (dólares)	Ganancias cada cuatro meses (dólares)	Ganancias por año (dólares)
Compostaje	15120	600	25	5	3000	750	2250

Realizado por: David Riquelme, 2019.

3.6 Cronograma de ejecución del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO																																	
	1º mes				2º mes				3º mes				4º mes				5º mes				6º mes													
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4										
Revisión Bibliográfica																																		
Elaboración Anteproyecto																																		
Presentación y aprobación del anteproyecto																																		
Selección y acoplamiento de equipos disponibles en la empresa para el proceso																																		
Realizar la caracterización de la fisico-química de la materia prima																																		
Desarrollo del proceso compostaje																																		
Realización de pruebas fisico-químicas del compostaje																																		
Identificar las variables y parámetros óptimos del proceso para la obtención de compostaje																																		
Validar el proceso mediante una caracterización fisicoquímica de C/N																																		
Realizar los cálculos para el diseño de la planta y distribución definitiva																																		
Elaboración de borradores																																		
Corrección de borradores																																		
Tipiado del trabajo final																																		
Empastado y presentación del trabajo final																																		
Defensa del trabajo																																		

Realizado: David Riquelme, 2019.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el diseño de la planta de compostaje a partir del raquis de palma africana, el punto de partida fue la caracterización físico química de la materia prima y de esa forma se pudo determinar si es viable o no para la elaboración del compostaje. La caracterización del raquis se hizo siguiendo los procesos determinados en la Norma PAS 100, la misma que nos indica los procedimientos a seguir para calcular el contenido de humedad, carbono y nitrógeno. El porcentaje de humedad en la muestra de materia prima fue calculado después de que dicho producto sale como residuo sólido en el proceso de desgranado para la obtención de aceite de palma africana, el porcentaje fue de 69.77%, este valor de humedad es alto puesto que en el proceso de obtención de aceite el raquis se libera como un residuo muy húmedo, el compostaje se inició dos semanas después de dejar secar el raquis, iniciando el proceso de con una humedad de 49.58%, este valor es adecuado y está dentro de los valores de referencia indicados en el Manual de Compostaje del Agricultor.

Es necesario aclarar que contenido de humedad en principio puede ser modificado de acuerdo a la necesidad que tenga la materia prima, esta modificación se realiza, o bien incorporando líquidos en caso que la humedad sea muy baja o añadiendo materia orgánica con virutas y aserrín si la humedad fuese muy elevada. La relación C/N es nuestro parámetro principal para la validación del proceso, la materia prima tiene una relación C/N de 30.72, es un valor adecuado para que el raquis pueda ser utilizado junto al agua de laguna de oxidación como compostaje así que se llevó a cabo el proceso de compostaje durante 16 semanas con volteos constantes que permitan una adecuada aireación. Los volteos favorecen de cierta forma la disminución de la relación C/N, pero lo que realmente influye en esta disminución es la incorporación de líquidos con contenido de nitrógeno, el contenido líquido permite la reactivación del proceso de descomposición de la materia.

Durante el proceso de compostaje se produce una importante pérdida de masa en las pilas, esto queda constatado en los balances de masa detallados anteriormente para cada etapa del procedimiento, trabajando con una masa inicial de 7000 kg, durante las 16 semanas se da una importante disminución de masa debido a la liberación del contenido de agua, y después con el cribado el compostaje final obtenido será de 3780 kg. Se debe separar cualquier material que pueda interferir con el proceso de compostaje, tanto en el triturado inicial como en el cribado final.

Para el dimensionamiento de la planta se deben considerar las áreas requeridas para los procesos y los espacios adecuados para la correcta maniobrabilidad de los operarios, dentro del diseño se consideran espacios para el paso de las maquinarias móviles de modo que no pongan en peligro la integridad de los operarios. El área requerida es de aproximadamente 240 metros cuadrados, área con la que la planta cuenta, además estará alejada de zonas de trabajo ya que puede darse la emisión de olores desagradables que incomoden a las personas que trabajan en la extracción de aceite y en áreas administrativas.

La relación C/N del compostaje final es de 24.5 y se encuentra dentro del rango ideal según la Norma NCh 2880 de Chile y el Manual de Compostaje del Agricultor, es importante que para la disminución de la relación en el raquis se incorporen líquidos con contenido de nitrógeno, la Extractora Rio Manso cuenta con el agua de los efluentes y se puede añadir el agua de las lagunas para regular este parámetro, el pH del compostaje es ligeramente alcalino y también se ve afectado por la incorporación de líquidos. En cuanto a la humedad se obtiene un valor de 30.90%, adecuado para el compostaje final. Los parámetros deben ser controlados semanalmente y así de esta forma saber que se debe añadir a la materia prima, la calidad del compostaje va a depender de un correcto monitoreo de las variables.

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de la planta de compostaje a partir del raquis de la extracción de aceite de palma africana para la Extractora Rio Manso Exa S.A., con una capacidad de procesamiento de 7000 kg de raquis para la obtención de compostaje orgánico destinado al uso agrícola de diversas índoles.
- Se realizó el análisis físico-químico del raquis según los procedimientos explicados en la Norma PAS 100, previo a su tratamiento para la obtención de compostaje, los valores obtenidos fueron un porcentaje de nitrógeno del 2.01%, un porcentaje de carbono de 61.75% y una humedad de 69,77%. Estos valores fueron necesarios para el inicio del proceso de compostaje.
- Se hizo el cálculo de balance de masa al final de proceso de cribado, así se pudo constatar que de 7000 kg de raquis se obtienen 3780 kg de compostaje, culminadas las 16 semanas del proceso de degradación, esta disminución se explica por la pérdida de humedad y materia orgánica durante el tiempo indicado.
- Realizamos el dimensionamiento de la planta de compostaje, basándonos en la cantidad de raquis que va a entrar a ser procesado, la densidad calculada fue de 244 kg/m^3 ; y con esto se determinó el largo de las pilas de compostaje, cada una con un largo de 2,25 m, un alto de 1,5 m y un ancho de 2 m. El área para la disposición completa de la planta será de 240 m^2 .
- La validación del diseño se realizó mediante el cálculo de la relación C/N del compostaje obtenido, en donde se obtuvo un porcentaje de nitrógeno del 1,28% y un porcentaje de carbono de 30.79%. Mediante la ecuación de Walker y Black se determinó la relación en un valor de C/N igual a 24,5, este valor se explica por el alto contenido de fibras en el raquis, dicho valor se encuentra dentro del rango ideal según el Manual de Compostaje del Agricultor (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO) y la Norma NCh 2880 de Chile que lo sitúa entre 15,1 y 35,1 para su aplicación en diversos tipos de cultivos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Extractora Rio Manso Exa S.A. realizar la implementación de la planta de compostaje de raquis, puesto que de esta manera se podrá aprovechar de manera eficiente los residuos que se producen en grandes cantidades, el compostaje obtenido puede ser utilizado en las plantaciones de palma africana o para la venta y uso en otro tipo de cultivos.
- Para la disminución de la relación C/N inicial del raquis se recomienda la adición de materiales o líquidos ricos en nitrógeno puesto que una relación alta indica una presencia elevada de carbono, si no se controlará esto se produciría una ralentización considerable dentro del proceso. Si la Extractora desea hacer la implementación de la planta lo más pronto posible, puede hacer uso de los equipos y maquinaria móviles con los que ya se cuenta, pero con el tiempo se sugiere conseguir equipos propios para el área de compostaje de modo que no existan interrupciones a lo largo del trabajo.
- Los parámetros de humedad y pH pueden ser medidos semanalmente, la humedad debe ser controlada mediante los volteos y la oxigenación hasta que se estabilice, los volteos pueden ser realizado de 2 a 3 veces por semana durante las primeras semanas para luego hacerlo una vez a la semana hasta culminar el proceso, mientras que el pH será estable en un rango similar al neutro.
- Se sugiere a la Extractora Rio Manso Exa S.A. realizar un estudio para la implementación de una planta de compostaje a partir de la fibra de palma africana, puesto que es otro residuo sólido que se produce en grandes cantidades y analizar la posibilidad de combinar ambos materiales para la elaboración de compostaje en un futuro próximo. Además, se debe realizar el análisis de los lixiviados que se liberan durante el proceso, puesto que dicho material posee cantidad importantes de nitrógeno en su composición.
- El proceso de compostaje puede ser aumentado a un tiempo de 6 meses, de esta forma se puede conseguir un mayor grado de degradación del material lignocelulósico y así conseguir un valor de relación C/N más bajo.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, J. “La calidad del suelo y del compost del parque de Ichimbía en su proceso de recuperación” [En línea] (Tesis de pregrado) Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de ciencias de la vida ingeniería en biotecnología. Quito-Ecuador 2009 pp 16-17. Consultada: agosto 2018. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1002/2/T-ESPE-023922.pdf>

Anderson, J.M. y Khalid H. Cuantificación de la biomasa de la palma de aceite y su valor nutritivo en una plantación desarrollada [En línea] 19 de Julio de 2012. [Citado el: 7 de Agosto de 2018] <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/728/728/>

Cataluña, Agencia de Residuos. Guía Práctica para el diseño y la explotación de las plantas de compostaje. Guía Práctica para el diseño y la explotación de las plantas de compostaje. [En línea] 25 de Noviembre de 2016. [Citado el: 25 de Febrero de 2018.] http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/residus_municipals/GuiaPC_web_ES.pdf.

FAO, ‘Técnicas de compostaje’ .*Manual de Compostaje del Agricultor.* 2012 Paraguay, p.p 1-66 (Consultada: 12 julio 2018) Disponible en: http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf

Gómez, J; Estrada, I. II Congreso sobre residuos biodegradables y compost. “Índices de la calidad del suelo y compost desde la perspectiva agroecológica” 2005. (Consultada: 5 septiembre 2018). Disponible en: http://www.bpeninsular.com/pdfs/Potencia_ISR_Sevilla.pdf

Ley 10/98 de Residuos. Normativa básica española para regular determinadas corrientes de residuos de cualquier naturaleza. (Consulta: 12 diciembre de 2018) Disponible en: <http://gestion-calidad.com/residuos-urbanos>

RIERA, Talía. Optimización de los residuos generados en el proceso de faenamiento del ganado en el camal del cantón Chunchi provincia de Chimborazo mediante el proceso de compostaje para su comercialización. [En línea] (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador 2016. Pp 17-21. [Consultada el: 25 de Septiembre de 2018] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4961/1/236T0208.pdf>

TOLAGASI, Geovanna. Producción de Abono Orgánico a Partir de los Subproductos de extracción de aceite de palma africana y su aplicación en el cultivo de papa a escala de laboratorio [En línea] (Tesis de pregrado) Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito-Ecuador 2013. pp 1-4. [Consultada el: 15 de Agosto de 2018] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6063>

Tortosa, Germán. Compostando Ciencia Lab.[blog].Murcia. (Consultada: 20 octubre 2018) Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/05/criterio-calidad-composts-como-abonos-html/>

ANEXOS

ANEXO A. NORMA PAS 100 DE LA BRITISH STANDARD INSTITUTION PARA LAS ESPECIFICACIONES DE MATERIALES PARA COMPOSTAJE.

Table B.1 – Recommended tests and declarations for compost parameters according to compost use

Parameter	Method of test	Compost use				
		Mulch ^{a)}	Soil improver ^{b)}	Manufactured topsoil (ingredient) ^{b), c)}	Turf dressing ^{b), d)}	Growing medium (ingredient) ^{b), d)}
Particle size distribution ^{e)}	AfOR MT PC&S	✓EO	✓EO	✓EO	✓EO	✓EO
Moisture or dry matter	BS EN 13040	✓EO & EOQP	✓EO & EOQP	✓EO	✓EO	✓EO
Loss on ignition (organic matter)	BS EN 13039	–	✓EO & EOQP	✓EO	✓EO	✓EO
Total organic carbon	Calculated by dividing loss on ignition result by 1.72	✓EOQP	✓EOQP	✓	–	✓
C:N (carbon to nitrogen ratio)	Calculated by dividing total organic carbon by total nitrogen	–	–	✓	–	✓
Electrical conductivity	BS EN 13038	–	✓EO	✓EO	✓EO	✓EO
pH ^{f)}	BS EN 13037	✓EOQP	✓EOQP	✓	✓	✓
'Total' nitrogen [N]	BS EN 13654-1 (Kjeldahl) or BS EN 13654-2 (Dumas), as appropriate	✓EOQP	✓A, FGH ^{h)} EOQP	✓	✓	✓

Agricultural M.M.F.

ANEXO B. NORMA NCh 2880 PARA LA CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOSTAJE.

Vencimiento consulta pública: 2003.11.07

PROYECTO DE NORMA EN CONSULTA PÚBLICA

NCh2880.c2003

Compost - Clasificación y requisitos

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

El proyecto de norma NCh2880 ha sido preparado por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización.

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de este proyecto de norma se han tomado en consideración las normas AS 4454-1999 *Australian Standard Compost, Soil Conditioners and Mulches*; y NF U44-095. Norme Francaise. Amendements Organiques. *Composts contenant des matieres d'intéret agronomique, issues du traitement des eaux*. AFNOR 2002; y antecedentes técnicos nacionales.

5.2.2.7 Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación C/N siguientes:

a) Para el compost Clase A, la relación C/N debe ser entre 10 y 25.

b) Para el compost Clase B, la relación C/N debe ser entre 10 y 40.

c) Para el compost inmaduro o subestándar, la relación C/N debe ser como máximo 50.

NOTA - La relación C/N está expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total.

5.2.2.8 pH

a) El pH normal del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 7,5.

b) No obstante, si el pH está entre 7,5 y 8,5, la relación de adsorción de sodio (RAS) debe ser menor a 7.

c) Un compost se considera maduro si después de una incubación de 24 h en condiciones anaeróbicas, a una temperatura de 55°C, el pH del producto es mayor a 6.

d) Si el pH es mayor a 7,5 se debe informar en el rótulo el contenido de CaCO₃.

5.2.2.9 Materia orgánica

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de materia orgánica siguientes:

a) Para el compost Clase A, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 45%.

b) Para el compost Clase B, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 25%.

Activar V
Ve a Config

ANEXO C. RELACIÓN C/N DE LOS PRINCIPALES MATERIALES UTILIZADOS PARA EL COMPOSTAJE.

Material	Relación C/N
Desechos de Ganado	
Orina	0.8
Estiércol almacenado (3meses)	15-20
Estiércol bovino	20-25
Estiércol de caballo	25
Desechos de Cosecha	
Semillas de oleaginosas	3-15
Residuos de Leguminosas	15
Alfalfa verde	15
Desechos de cañas de azúcar	15-20
Rastrojo de maíz	40-80
Paja de avena	50-150
Paja de trigo	130-150
Desechos Vegetales	
Follaje de pino	5
Residuos Frescos de jardín	12
Abonos verdes	10-15
Algas	19
Residuos frescos del huerto	30
Hojas secas	50-80
Desechos Agroindustriales	
Pulpa de café seca	3
Harina de pescado	4-5
Harina de hueso	8
Desechos de cervecería	15
Bagazo de caña	200
Aserrín	200-500

ANEXO D. FOTOGRAFÍAS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A LA MATERIA PRIMA.



ANEXO E. FOTOGRAFÍAS DE LA MATERIA PRIMA Y DEL COMPOSTAJE FINAL.



ANEXO F. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA RELACIÓN C/N DEL RAQUIS DE PALMA AFRICANA.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>
--	---

INFORME DE ENSAYO No:	TV- 011-18
ST:	010- 18 ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL
Nombre Peticionario:	NA
Atm.	David Riquelme
Dirección:	Riobamba, Chimborazo Riobamba-Chimborazo
FECHA:	16 de Noviembre del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/11/06 - 11:35
FECHA DE MUESTREO:	2018/09/07 - 12:05
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/11/06 - 2018/11/16
TIPO DE MUESTRA:	Tejido Vegetal
CÓDIGO CESTTA:	LAB-TV 011-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Santo Domingo Patricia Pilar Raquis de Palma Africana Químico David Riquelme
ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	David Riquelme
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

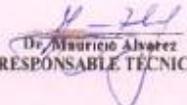
RESULTADOS ANALÍTICOS:

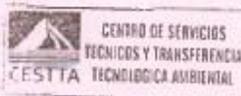
PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Nitrógeno Total	PEE/CESTTA/88 Kjeldhal	%	0,61	-
Materia Orgánica	Gravimetría	%	95,70	-

OBSERVACIONES:

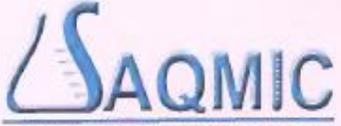
- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO G. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA RELACIÓN C/N DEL AGUA DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN.


Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

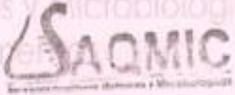
EXAMEN QUIMICO CÓDIGO: 58-19

CUENTE: Sr. David Riquelme
TIPO DE MUESTRA: Biol laguna de oxidación
FECHA DE RECEPCIÓN: 12 de febrero del 2019
FECHA DE MUESTREO: 12 de febrero del 2019

EXAMEN FÍSICO
COLOR: Característico
OLOR: Característico
ASPECTO: Homogéneo libre de material extraño

EXAMEN QUÍMICO

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADOS
Nitrógeno total	%	-	7
Materia orgánica	%	-	53.8

RESPONSABLE:
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos 


Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previa autorización de los responsables.

ANEXO H. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA RELACIÓN C/N DEL COMPOSTAJE FINAL.

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL.</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No:	F-072-18
ST:	015- 18 ANÁLISIS DE FERTILIZANTES
Nombre Peticionario	NA
Ata.	David Riquelme
Dirección:	Riobamba, Chimborazo Riobamba-Chimborazo
FECHA:	16 de Noviembre del 2018
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2018/11/06 - 11:40
FECHA DE MUESTREO:	2018/11/05
FECHA DE ANÁLISIS:	2018/11/06 - 2018/11/16
TIPO DE MUESTRA:	Fertilizante orgánico
CÓDIGO CESTTA:	LAB-F-072-18
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Santo Domingo//Patricia Pilar//Abono a partir de Raquis y Fibra
ANÁLISIS SOLICITADO:	Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	David Riquelme
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

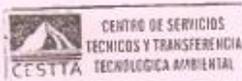
PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE (m)
Nitrógeno Total	PEE/CESTTA/88 Kjeldhal	%	1.28	-
Materia Orgánica	Gravimetría	%	54.06	-

OBSERVACIONES:

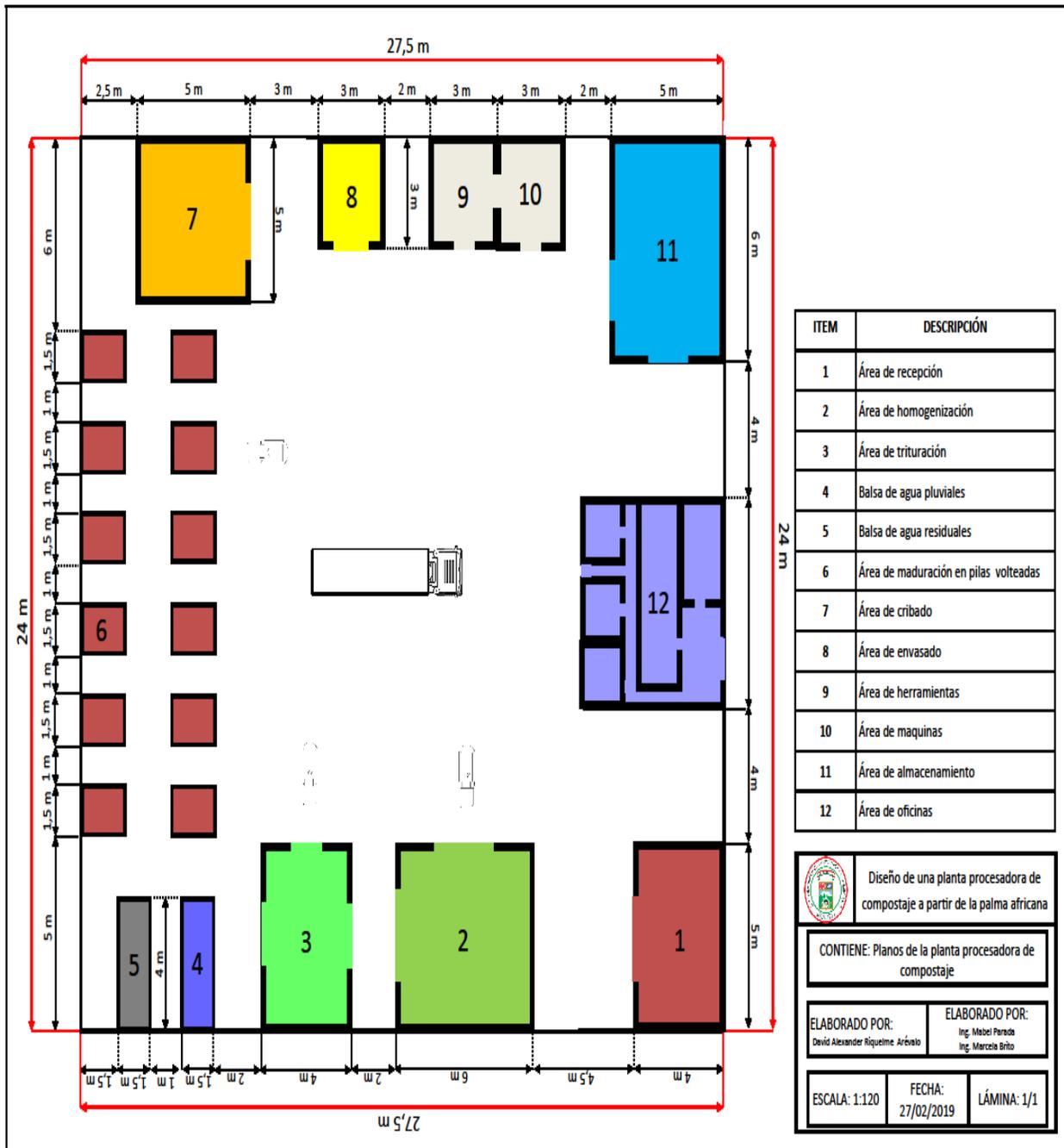
- Muestra receptada en laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO I. DISEÑO DE LA PLANTA PROPUESTA.



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Área de recepción
2	Área de homogenización
3	Área de trituración
4	Balsa de agua pluviales
5	Balsa de agua residuales
6	Área de maduración en pilas volteadas
7	Área de cribado
8	Área de envasado
9	Área de herramientas
10	Área de maquinas
11	Área de almacenamiento
12	Área de oficinas



Diseño de una planta procesadora de compostaje a partir de la palma africana

CONTIENE: Planos de la planta procesadora de compostaje

ELABORADO POR: David Alexander Riquelme Arballo	ELABORADO POR: Ing. Abel Parada Ing. Marcela Brito
--	--

ESCALA: 1:120	FECHA: 27/02/2019	LÁMINA: 1/1
---------------	----------------------	-------------