

Julio Alfonso Marroquin Hernández

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS  
INDUSTRIALES, DEL ÁREA DE MANEJO DE SUBPRODUCTOS  
(EFLUENTES Y RAQUIS), EN EMPRESA NATURACEITES, EL ESTOR,  
IZABAL.



Asesor General Metodológico:

Ing. Agr. Carlos Moisés Hernández González.

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, abril 2022

Informe Final de Graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS  
INDUSTRIALES, DEL ÁREA DE MANEJO DE SUBPRODUCTOS  
(EFLUENTES Y RAQUIS), EN EMPRESA NATURACEITES, EL ESTOR,  
IZABAL.



Presentado al honorable tribunal examinador por:

Julio Alfonso Marroquin Hernández

En el acto de investidura previo a su graduación como Licenciado en ingeniería  
Industrial con énfasis en recursos naturales renovables.

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, abril 2022

Informe Final de Graduación

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS  
INDUSTRIALES, DEL ÁREA DE MANEJO DE SUBPRODUCTOS  
(EFLUENTES Y RAQUIS), EN EMPRESA NATURACEITES, EL ESTOR,  
IZABAL.



Rector de la Universidad:

Doctor Fidel Reyes Lee

Secretario de la Universidad

Licenciado Mario Santiago Linares García

Decano de la Facultad de Ingeniería:

Ing. Luis Adolfo Martínez Díaz

Universidad Rural de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Guatemala, abril 2022

Esta tesis fue presentada por el autor,  
previo a obtener el título universitario de  
Licenciado en ingeniería Industrial con  
énfasis en recursos naturales renovables.

## **PRÓLOGO**

En cumplimiento de lo establecido por la Universidad Rural de Guatemala, a través del programa de graduación, se realizó esta investigación de carácter científico (tesis), con el objetivo de profundizar en el problema evidenciado en la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Dicho proceso es fundamental para que el estudiante cumpla con este requisito y pueda optar para el título de Ingeniero Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables.

Esta investigación se basa principalmente con la metodología del marco lógico, se presentan soluciones o ideas respecto al problema central, se lleva a cabo el árbol de problemas y objetivos, de lo cual se obtiene la hipótesis de la investigación, la misma que durante el proceso se pretende comprobar o rechazar, a través de métodos y técnicas para obtener fundamentos estadísticos e investigación documental.

## **PRESENTACIÓN**

Como parte del proceso de programa de graduación y el requisito previo a obtener el título universitario en el grado de Ingeniero Industrial, de la Universidad Rural de Guatemala, se presenta la investigación tipo académica y científica, posterior a optar al acto de investidura como profesional.

Dicha investigación se lleva a cabo en Naturaceites Finca El Pataxte, El Estor, Izabal, una empresa dedicada a la cultivo y extracción de aceite de palma africana, como principal enfoque de la investigación de la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, consecuencia de fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos, ante la falta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis).

Para dar solución a la problemática se realiza la propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal, con el propósito principal de darle continuidad al funcionamiento de los equipos para la aplicación de efluentes, a través de mantenimientos preventivos, por medio de un plan de mantenimiento, de esta forma se logra buscar aumentar la absorción de aplicación de efluentes a compostera.

## Índice General

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Hipótesis .....	3
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivo Especifico.....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Metodología.....	5
1.5.1. Métodos .....	5
1.5.2. Métodos y técnicas utilizadas para la formulación de la hipótesis .....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	9
III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	80
IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	88
IV.1. Conclusiones.....	88
IV.2. Recomendaciones .....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Cría del inóculo.....	19
2	Arranque lagunas.....	20
3	Operación y mantenimiento.....	21
4	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta indican sobre la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera.....	81
5	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta Niegan que han disminuido los niveles de nutrientes en el compost.....	82
6	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta afirman el aumento de las temperaturas de compost en alguna época del año.....	83
7	Jefe y supervisor de mantenimiento industrial indican la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de los subproductos (Efluente y Raquis) en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.....	84
8	El personal de mantenimiento realiza inspecciones a los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.....	85
9	Personal capacitado para poder realizar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.....	86
10	Frecuencias de capacitaciones al personal para el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa.....	87
11	Herramienta y equipo adecuado para ejecutar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.	1
12	Capacitaciones específicas para realizar mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.	2



## ÍNDICE DE GRAFICAS

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta indican sobre la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a Compostera.....	81
2	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta niegan que han disminuido los niveles de nutrientes en el compost.....	82
3	Coordinador de Compostera y gerente regional de sta afirman el aumento de las temperaturas de compost en alguna época del año.....	83
4	Jefe y supervisor de mantenimiento industrial indica la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de los subproductos (Efluente y Raquis) en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.....	84
5	El personal de mantenimiento realiza inspecciones a los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.....	85
6	Personal capacitado para poder realizar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.....	86
7	Frecuencias de capacitaciones al personal para el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa.....	87
8	Herramienta y equipo adecuado para ejecutar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.	1
9		2

Capacitaciones específicas para realizar mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1 Sistema de lagunas abiertas para almacenamiento de efluentes	17

## I. INTRODUCCIÓN

Naturaceites es una empresa que se dedica a la producción de aceite de palma africana *Elaeis guineensis*, opera en cuatro áreas del país las cuales son Fray Bartolomé de las Casas, Panzós en Alta Verapaz, El Estor Izabal y San Luis Peten, cuenta con 3 plantas extractoras de aceite ubicadas en Fray Bartolomé de las Casas, El Estor y Panzós, su planta refinadora se ubica en Escuintla donde sale el producto terminado para sus distintos consumidores, su terminal de exportación en Puerto Barrios Izabal y Oficinas centrales en ciudad Guatemala.

Finca Pataxte el Estor Izabal cuenta con 4 fincas las cuales son: Finca El Chapin, Finca El Pataxte, Finca Rio Zarco y Finca Chabiland juntas conforman un total de 3,767.09 hectáreas aproximadamente de siembra de palma, cuenta con una planta de extracción de aceite de palma *Elaeis guineensis*, Compostera, Oficinas administrativas, clínica y áreas recreativas.

Como cumplimiento con el programa de graduación de la Universidad Rural de Guatemala, se llevó a cabo el trabajo de investigación de tesis propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, el estor Izabal, el propósito principal es darle solución a la disminución de la aplicación de efluentes al raquis en proceso de compostaje.

Mencionada investigación se basa en el método lógico, diagramado en árbol de problema y sus objetivos, con el propósito de comprobar o rechazar la hipótesis a investigar. Para ello se utilizaron métodos como la búsqueda de datos, observación de los procesos y equipo del manejo de los subproductos, entrevistas a las personas involucradas para luego proceder al análisis de los resultados.

La investigación y estructura está conformada de cuatro capítulos, a continuación, detallo el orden.

Capítulo I: En este capítulo está incluida la estructura descriptiva del planteamiento del problema, hipótesis, objetivos: general y específicos, la justificación de la investigación y la metodología que incluye; métodos y técnicas.

Capitulo II: Contiene principalmente el marco teórico, los conceptos relacionados al tema del manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma.

Capitulo III: Este capítulo está compuesto por el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, lo cual se utilizó para la comprobación o rechazo de la hipótesis.

Capitulo IV: está compuesto por las conclusiones que se utilizaran para identificar la propuesta a formular y sus medios de solución. Las recomendaciones serán la base para solucionar la problemática planteada y alcanzar los objetivos que se propusieron.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En compostera se tiene como meta la absorción mínima del 70% del efluente proveniente del proceso de la extracción de aceite de palma, en días de lluvia estos porcentajes se deben elevar para absorber el agua de lluvia y evitar un derrame en las lagunas.

Los fallos constantes en bombas han ocasionado en compostera la disminución de la aplicación de efluentes al compost provocando no llegar a la meta de 6m<sup>3</sup>/ TM de raquis por cama que es lo requerido para la buena calidad del compost.

La causa de la disminución en la aplicación de efluentes a compostera es la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo a los equipos industriales del

área del manejo de subproductos (efluentes y raquis) frecuentemente se ve pausado el riego por los fallos en las bombas, actualmente son reparadas cuando fallan lo que ocasiona que los daños sean severos y la reparación sean a costos más elevados.

## **1.2. Hipótesis**

### 1.2.1 hipótesis Causal

“La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis)”.

### 1.2.2 hipótesis interrogativa

¿Es la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales. del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), por fallas en quipo industrial, la causante de la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años?

## **1.3. Objetivos**

Los objetivos de la investigación se adquirieron del árbol de problemas, el efecto del problema se convirtió en el objetivo general y el problema central se convirtió en objetivo específico, los cuales se definen de la siguiente manera:

### **1.3.1. Objetivo General**

Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

### **1.3.2. Objetivo Especifico**

Evitar fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

#### **1.4. Justificación**

La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años. Se refleja en la meta de absorción del 70% de los efluentes que envía planta del proceso de la extracción de aceite de palma.

La disminución en la aplicación es por fallos en los equipos industriales utilizados en el riego de efluentes al raquis en proceso de compostaje, esto debido a que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo en los equipos y únicamente son reparados cuando fallan, provocando pausas prolongadas en la aplicación de efluente.

Por la problemática de la disminución en la aplicación de efluentes a compostera nace la iniciativa de investigar el problema antes descrito, al mismo tiempo proponer como parte de solución la propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, el estor Izabal, mismo que dentro de la estructura de la investigación cuenta con componentes para lograr los objetivos propuestos, como: Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera y evitar Fallas en quipo industrial.

Se realizó el cálculo del coeficiente de correlación, en donde la variable dependiente está fuertemente correlacionada en el tiempo, Con un resultado de 0.97 de relación obtenido  $r =$  se determinó que las variables, (Y, X) están fuertemente correlacionadas, por lo que se puede aplicar el método de Línea Recta, en el cual se obtiene una disminución en la aplicación de efluentes de 59,993 m<sup>3</sup> (37.60% de absorción) aplicados para el 2024.

## **1.5. Metodología**

Los métodos y técnicas empleadas para la elaboración del presente trabajo de graduación, se expone a continuación:

### **1.5.1. Métodos**

Los métodos utilizados variaron con relación a la formulación de la hipótesis y la comprobación de esta; así: para la formulación de la hipótesis, el método utilizado fue esencial el método deductivo, el que fue auxiliado por el método del marco lógico para formular la hipótesis y los objetivos de la investigación, diagramados en los árboles de problemas y objetivos, que forman parte del anexo de este documento. Para la comprobación de la hipótesis, el método utilizado fue el inductivo, que contó con el auxilio de los métodos: estadístico, análisis y síntesis.

La forma del empleo de los métodos citados se expone a continuación:

### **1.5.2. Métodos y técnicas utilizadas para la formulación de la hipótesis**

Para la formulación de la hipótesis el método principal fue el deductivo, el cual permitió conocer aspectos generales del área de Aplicación de efluentes de Finca Naturaceites, departamento de Izabal. A este efecto, se utilizaron las técnicas que se especifican a continuación:

#### **Observación directa.**

Esta técnica se utilizó directamente en el área del manejo de los subproductos, a cuyo efecto, se observó la forma en que actuaban los empleados; así como a terceras personas que poseían relación directa e indirecta con la misma, como mecánicos.

### **Investigación documental.**

Esta técnica se utilizó a efectos de determinar si se poseían documentos similares o relacionados con la problemática a investigar a fin de no duplicar esfuerzos en cuanto al trabajo académico que se desarrolló; así como, para obtener aportes y otros puntos de vista de otros investigadores sobre la temática citada. Los documentos consultados se especifican en el acápite de bibliografía, que fueron obtenidos a través de las fichas bibliográficas utilizadas en el transcurso de la revisión documental.

### **Entrevista.**

Una vez formada una idea general de la problemática, se procedió a entrevistar al personal del área de manejo de los subproductos de empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, a efectos de poseer información más precisa sobre la problemática detectada.

Teniendo una visión más clara sobre la problemática del área del manejo de los sub productos de la extracción de aceite de palma, con la utilización del método deductivo, a través de las técnicas anteriormente descritas, se procedió a la formulación de la hipótesis, a cuyo efecto se utilizó el método del marco lógico, que permitió encontrar la variable dependiente e independiente de la hipótesis, además de definir el área de trabajo y el tiempo que se determinó para desarrollar la investigación. La gratificación de la hipótesis se encuentra en el anexo 1.

La hipótesis formulada de la forma indicada es: “La Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis)”

¿Es la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, la causante de la disminución del volumen de aplicación de afluentes (lodos) a



compostera, por fallas en quipo industrial en El Estor Izabal, durante los últimos 5 años?

El método del marco lógico nos permitió también, entre otros aspectos, encontrar el objeto general y el específico de la investigación; así como nos facilitó establecer la denominación del trabajo en cuestión.

### **Métodos y técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis.**

Para la comprobación de la hipótesis, el método principal utilizado, fue el método inductivo, con el que se pudo obtener resultados específicos o particulares de la problemática identificada; lo cual sirvió para diseñar conclusiones y premisas generales, a partir de tales resultados específicos o particulares.

A este efecto, se utilizaron las técnicas que se especifican a continuación:

#### **Entrevista.**

Previo a desarrollar la entrevista, se procedió al diseño de boletas de investigación, con el propósito de comprobar las variables dependiente e independiente de la hipótesis previamente formulada. Las boletas, previo a ser aplicadas a población objetivo, sufrieron un proceso de prueba, con la finalidad, de hacer más efectivas las preguntas y propiciar que las respuestas, proporcionaran la información requerida, después de ser aplicada.

#### **Determinación de la población a investigar.**

En atención a este tema se determinó que se entrevistaría a 4 personas involucradas en el manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma para determinar la problemática.

No se calculó la muestra puesto que la población a encuestar es de 4 personas en el área del manejo de los subproductos. La población que conoce o la variable

dependiente menor a 35, por lo que no se calcula muestra según lineamientos de la Universidad de Guatemala.

Después de recabar la información contenida en las boletas, se procedió a tabularlas; para cuyo efecto se utilizó el método de estadístico y el método de análisis, que consistió en la interpretación de los datos tabulados, en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, que poseyeron como objeto la comprobación de la hipótesis previamente formulada.

Una vez interpretada la información, se utilizó el método de síntesis, a efecto de obtener las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; el que sirvió además para hacer congruente la totalidad de la investigación, con los resultados obtenidos producto de la investigación de campo efectuada.

### **Técnicas**

Las técnicas empleadas, tanto en la formulación como en la comprobación de la hipótesis, se expusieron anteriormente, pero estas variaron de acuerdo con la etapa de la formulación de la hipótesis y a la comprobación de la misma; así:

Como se describió en el apartado (1.5.1 Métodos), las técnicas empleadas en la formulación fueron: la observación directa, la investigación documental y las fichas bibliográficas; así como la entrevista a las personas relacionadas directamente con la problemática.

Por otro lado, la comprobación de la hipótesis, se utilizó la entrevista.

Como se puede advertir fácilmente, la entrevista estuvo presente en la etapa de la formulación de la hipótesis y en la etapa de la comprobación de la misma. La investigación documental, estuvo presente además de las dos etapas indicadas, en toda la investigación documental y específicamente, para conformar el marco teórico.

## **II. MARCO TEÓRICO**

El marco teórico consiste en desarrollar la teoría que fundamenta el proyecto de investigación con base al planteamiento del problema. Para su elaboración fue necesario acudir a la recopilación de datos e información documental.

### **II.1 Aspectos conceptuales.**

#### **II.1.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales**

Según (Hauser, 1,996) “El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo de este es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para la disposición o reúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables”.

Las plantas de tratamiento, también llamadas depuradoras, son instalaciones intermedias construidas entre una industria o una ciudad (con sus aguas servidas domiciliarias) y un ambiente acuático receptor. Su función específica consiste en tratar y transformar efluentes fabriles y /o urbanos químicamente complejos en sustancias simples que puedan ser captadas por las plantas verdes foto sintetizadoras, o bien retener elementos tóxicos para el ambiente. (Wais, 1977)

La construcción de esas instalaciones depende de numerosos factores, como la naturaleza del efluente a tratar, la composición y concentración de cada compuesto y elemento que se pretende depurar o del tipo de subproducto no deseado originado en el proceso industrial en cuestión. En algunos casos, y para abaratar costos, industrias

competidoras, pero con efluentes de similares características, construyen plantas comunes de tratamiento. (Wais, 1977)

Si el espacio es suficiente, simples lagunas de estabilización poco profundas aseguran un adecuado intercambio gaseoso entre el aire y el agua para que ésta pueda contener concentraciones altas de oxígeno, indispensables para el tratamiento aeróbico. A veces se aumenta la eficiencia incorporando a estas lagunas plantas acuáticas que generan ese gas. Son las llamadas lagunas de fotosíntesis. (Wais, 1977)

A las instalaciones dedicadas a la purificación del agua residual, empleando para ello procesos de distinta naturaleza. Existen tantos tipos de planta como etapas de procesamiento de aguas. Algunas llevan a cabo el proceso completo, mientras que otras se enfocan nada más en momentos específicos de la purificación. (Raffino, 2020)

Dependiendo del tipo, en ellas pueden tener lugar:

Separaciones físicas del agua y los desechos sólidos que puedan contener (sin implicar ningún tipo de reacción).

Tratamientos del agua con diversos químicos y reactivos.

La utilización de reacciones biológicas o bioquímicas para contrarrestar determinados contaminantes presentes en el líquido. (Raffino, 2020)

Existen también plantas de tratamiento especial, en las que se contrarresta la presencia específica de algún contaminante puntual, de acuerdo con las condiciones regionales o a las actividades industriales que se llevan a cabo. Este tipo de tratamientos generalmente buscan corregir el pH del agua y extraer de ella trazas de compuestos que resultarían tóxicos para quien los consumiera. (Raffino, 2020)

Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reusó en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo personal). (Cuidoelagua.org, 2009)

Cuando las aguas negras son conducidas hasta estas instalaciones especiales, a veces mezcladas con aguas pluviales, son tratadas mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, consiguiendo así un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados. (CONSTRUMÁTICA, 2005)

Generalmente, las EDAR tratan aguas residuales locales, procedentes del consumo de las áreas urbanas en su mayor parte, así como de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanizadas, además del agua procedente de pequeñas ciudades, mediante procesos y tratamientos estandarizados y convencionales. (CONSTRUMÁTICA, 2005)

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas como: tanques sépticos u otros medios de depuración o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. (Romero Rojas J. A., 1994)

## **II.1.2 Tratamiento de aguas residuales**

Se conoce como tratamiento de aguas residuales al conjunto de procedimientos de tipo físico, químico y biológico que permiten convertir el agua contaminada en agua potable. Así, el ser humano puede volver a utilizarla. Las aguas residuales se producen diariamente, tanto en nuestras casas, nuestros trabajos y en fábricas, industrias y actividades humanas de todo tipo. (Raffino, 2020)

Pueden clasificarse en:

Aguas servidas. Las que usamos para asearnos, limpiar nuestros hogares o ir al baño.  
Aguas contaminadas. Las empleadas por industrias, fábricas, metalurgias u otros procesos productivos que convierten unos materiales en otros. (Raffino, 2020)

Aunque se sabe que nuestro planeta es un 70% de agua, en realidad no se trata de un recurso del que podamos disponer ilimitada e irresponsablemente, por lo que el tratamiento de aguas residuales se impone como una verdadera necesidad. Las aguas residuales pueden tratarse en centros dedicados exclusivamente a ello, conocidas como plantas de tratamiento de aguas residuales. También pueden tratarse de manera preventiva en los propios lugares de su uso y contaminación, mediante mecanismos y procesos localizados. (Raffino, 2020)

Su objetivo es remover del agua las impurezas de tipo biológico (bacterias, virus, materia orgánica en descomposición), químico (elementos químicos que alteran su composición, metales pesados, etc.) o físico (tierra, polvo, fango, etc.) y permitir que el agua tratada sea nuevamente aprovechable. (Raffino, 2020)

Es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las

técnicas para cada tipo de tratamiento de aguas residuales con larga tradición y que se han mejorado a lo largo de los años en el conocimiento y diseño de las PTAR o PTAP. Las cada vez más exigentes leyes de regulación de tratamiento de aguas que se deben cumplir han abierto paso a la aplicación de nuevas tecnologías de tratamiento de agua. Muchas de estas tecnologías, permiten una recuperación de recursos y se dan un valor importante al residuo que se genera, como, por ejemplo: reúso de aguas residuales para riego, recuperación de aceites y grasas del agua residual o generación de energía. (Spena Group, 2021)

El tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. (Fair, 1966. )

Sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

Tratamiento primario (Separación y asentamiento de sólidos)

Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente)

Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, microfiltración o desinfección)

Entre los tipos de tratamientos de aguas residuales se considera en muchos casos un pre-tratamiento o tratamiento preliminar, seguido por el tratamiento primario. Básicamente estos consisten en la eliminación de sólidos gruesos, resultando en una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales. Dependiendo de la calidad requerida de sus efluentes finales usted puede necesitar ya sea un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación. (Spena Group, 2021)

### **II.1.3 Planta de tratamiento de residuales**

El sitio donde el proceso es conducido se llama Planta de tratamiento de aguas residuales. El diagrama de flujo de la planta es generalmente el mismo en todos los países.

### **II.1.4 Tratamiento físico químico**

Remoción de sólidos

Remoción de arena

Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes

Separación y filtración de sólidos el agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos

### **II.1.5 Tratamiento biológico**

Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos

Post – precipitación



Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción. (Hauser, 1,996)

### **11.1.6 Las aguas residuales de plantas de beneficio**

Las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma o Palm Oil Mill Effluent (pome, por su sigla en inglés), requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales. Al mismo tiempo, un tratamiento moderno de pome puede convertir la alta carga orgánica en biogás, una mezcla de gases con un valor Las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma o Palm Oil Mill Effluent (pome, por su sigla en inglés), requieren tratamiento antes de su uso en riego o su descarga en aguas superficiales. Al mismo tiempo, un tratamiento moderno de pome puede convertir la alta carga orgánica en biogás, una mezcla de gases con un valor energético de 6 kWh/m<sup>3</sup>. Adicionalmente, este tratamiento produce cantidades sustanciales de abono orgánico estabilizado y agua purificada. Así, el residuo pome se puede convertir en un recurso para la planta de procesamiento misma y sus plantaciones. (Althausen, 2016)

Las plantas de beneficio de aceite de palma producen grandes cantidades de aguas residuales, sobre todo en la esterilización de la fruta y en la clarificación del aceite. En promedio una planta típica produce aproximadamente 0,8 m<sup>3</sup> de efluente (pome) por cada tonelada procesada de racimos de fruta fresca (Fresh Fruit Bunches o ffb, por sus siglas en inglés). (Althausen, 2016)

Por tanto, una planta extractora mediana con 150.000 tffb por año (30 tffb/hora) produce aproximadamente 120.000 m<sup>3</sup> de pome al año o 450 m<sup>3</sup> por día. Este volumen corresponde a una producción de más de cuatro piscinas olímpicas (50 metros de largo, 25 m de ancho y 2 m de profundidad) cada mes.

El pome es un líquido de color amarillo-marón con características agresivas:

Alta carga orgánica (promedios):

Demanda química de oxígeno (dco) de 55.000 mg/L.

Demanda bioquímica de oxígeno (dbo) de 25.000 mg/L.

Sólidos suspendidos de 20.000 mg/L.

Temperatura muy alta: 80 °C.

pH ácido, entre 4 y 5.

Como consecuencia, el pome requiere un tratamiento adecuado antes de su uso en el riego de las plantaciones o su descarga en aguas superficiales.

#### **11.1.7 Tratamiento típico del POME en lagunas abiertas**

Es un sistema biológico en donde diferentes tipos de bacterias digieren materia orgánica en una serie de lagunas abiertas (una laguna anaeróbica, seguida por una laguna facultativa y una laguna aeróbica al final del proceso) (Figura 1).

Con un buen diseño (sobre todo, suficiente tiempo de retención) y buen mantenimiento (remoción de lodos), estos sistemas pueden reducir la dco del efluente a aproximadamente 1.500 mg/L.

La gran ventaja de estos sistemas es su bajo costo. Sin embargo, estos son sistemas estáticos, en general, sin mezcla interna y sin temperatura controlada. Por tanto, las bacterias no tienen condiciones ideales para la digestión (por ejemplo, necesitan temperaturas constantes entre 30 y 37 °C, así como alimentación continua y homogenizada). Como consecuencia, el proceso en estos sistemas de lagunas abiertas no es muy eficiente. Algunas especificaciones de su deficiencia son:

Necesitan más de 35 días de retención y así grandes volúmenes y superficies; una planta de 150 t ffb/año necesita lagunas de más de 17.000 m<sup>3</sup>.

Los lodos de la materia orgánica digerida se acumulan en el fondo (10-15 m<sup>3</sup> por día) de la laguna, reduciendo el volumen disponible en forma continua.

Las inversiones y gastos en estos sistemas no producen retornos ni ingresos.  
Emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera y producen fuertes olores.

### **II.1.8 Tratamiento moderno del POME**

A pesar de sus propiedades agresivas, el pome tiene un fuerte potencial como recurso: en el proceso de digestión anaeróbica del pome las bacterias emiten una mezcla de gases (en su mayoría, 60 % metano y 35 % dióxido de carbono) con un potencial energético de 6 kilovatios hora (kWh) por metro cúbico. Esta mezcla de gases (el biogás) se puede capturar y utilizar como combustible en la producción de energía. Cada metro cúbico de pome tiene un potencial entre 25 y 35 m<sup>3</sup> de biogás (dependiendo de la dco del pome) o 150-210 kWh de energía. (Althausen, 2016)

Figura 1. Sistema de lagunas abiertas para almacenamiento de efluentes.



Fuente: Estado actual del manejo de efluentes

### **11.1.9 Lagunas de estabilización**

Los procesos biológicos que ocurren dentro de una laguna son principalmente interacciones entre diversos grupos de bacterias que convierten los compuestos Contaminantes (grandes cadenas de carbono) en otros más estables.

Para que estas interacciones sean eficientes es necesario que exista un equilibrio entre los grupos de microorganismos. Las diferentes condiciones ambientales y de operación tales como pH, altura del nivel del agua, cantidad de desechos suministrado y tiempo de permanencia del agua en la laguna, entre otros, pueden originar, si no se manejan adecuadamente, trastornos que conllevan a la muerte completa de los grupos bacteriales, disminuyendo, por tanto, el tratamiento del desecho. (Alberto, 1991)

El sistema más empleado de tratamiento de los efluentes de extractoras de palma de aceite son las lagunas de estabilización. (Alberto, 1991)

### **11.1.10 Tratamiento de las aguas residuales**

El tratamiento de las aguas residuales tanto domésticas como industriales ha venido tomando auge en Guatemala en los últimos años. El crecimiento de la población y de las industrias han ocasionado que las fuentes receptoras como quebradas, ríos y los mares no sean capaces de absorber por sí solos, la contaminación generada por los centros urbanos, causando un desequilibrio en estas fuentes, el cual genera disminución de los niveles del oxígeno presente y la muerte de peces y otras formas de vida. Adicionalmente, algunas descargas industriales vierten compuestos tóxicos y acumulativos que generan intoxicación y se acumulan a lo largo de la cadena alimenticia llegando inclusive al hombre. (Romero Rojas J. A., 1994)

Como consecuencia de lo anterior, se ha hecho necesario el tratamiento de los diversos efluentes de tal manera que al llegar a los cuerpos receptores no ocasionen ningún problema de deterioro o contaminación ambiental.

Los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma, generan contaminación, principalmente por la gran cantidad de materia orgánica, sólidos y aceites que poseen. Debido a que la extracción del aceite se hace mediante procesos físicos y mecánicos ya que por diferencias de densidades se separan los sólidos, el agua y el aceite, no se generan elementos tóxicos ni metales pesados en sus aguas residuales, y el tratamiento se orienta principalmente a estabilizar la materia orgánica presente. El sector palmero a nivel internacional en los últimos años ha venido dando un fuerte impulso a la búsqueda de soluciones a la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales. (Romero Rojas J. A., 1994)

### II.1.11 Arranque, operación y control del sistema

#### II.1.12 Cuadro No. 1. Cría del inóculo

<p><b>Consideraciones generales:</b> El procedimiento descrito a continuación es el que desarrollaría en caso de aceite de palma. Para poder obtener el inóculo (lo des de laguna) este procedimiento pudiera describirse sin necesidad de implementar y se pasaría directamente a la fase de arranque. dependiendo de la cantidad de inóculo que se pueda lograr de lagunas que este trabajando a la medida, correcta, el procedimiento de inicio puede realizarse en el menor tiempo posible.</p>	
RECOLECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN	ADAPTACIÓN Y REPRODUCCIÓN
a) Recolectar inóculo en estiércol de vaca, tanques sépticos debe ser de color confuso, y puede ser representado en un punto de recolección hirviendo que indique movimiento metalogénico.	a) comenzamos con la nutrición con sustrato (agua residual proveniente de la extractora) desplazando un volumen de 17 litros de agua y añadiendo la misma cantidad de producto con DQO DE 5000 mg/l para obtener COV DE 0,25 Kg DQO/m <sup>3</sup> /día.
b) Colocar 50 litros de inóculo en cada caneca de 55 galones, complementar el volumen absoluto con agua residual de los florentinos con DQO de 1,000 mg/l, previamente equilibrada a ph 7.0 con cal viva en una proporción aproximada de 1gr/l. Si se comienza con 10 canecas se obtienen alcanzando después de 3 meses más de 30 canecas adaptadas.	b) Controlar diariamente pH, Temperatura, Relación de alcalinidades (R = capacidades buffer) y Alcalinidad Bicarbonatico (ABV). <b>La nutrición debe hacerse cada dos días según los parámetros de control así:</b> ** Si R <0,30 y pH >6,5 aumenta COV en 20% a los dos días del comienzo del proceso. Este aumento se hace incrementando la concentración de DQO calculada así:
c) Controlar frecuentemente pH, Temperatura, Relación de alcalinidades (R = capacidad buffer) y Alcalinidad Bicarbonatico (ABV). ** Si pH < 6.5 elevar con cal viva a pH >6.8 *** Si el ph se conserva estable >6.8 sin adicionar cal, R<0,4 y se nota añadiendo alcalinidad el inóculo está estabilizado.	$DQO(mg/l) = COV(KgDQO/m^3/día) \times 0,170m^3/0,0085m^3/día$ **Si R~0,30 y pH+/-6.5. repetir alimentación con igual COV. ** Si pH<6,0 alcalinizar dentro de la caneca con cal hasta pH~7,0. En la medición, que ABV aumente encima de 700mg/l, se empieza a disminuir gradualmente la cal.
d) <b>No adicionar sustrato en esta fase</b>	c) Los reactores resisten una carga límite COV máx de 5 KgDQO/m <sup>3</sup> /día.

Fuente: Manual de Arranque O&M. (Nuñez, Junio de 2011)

### I1.1.13 Cuadro No. 2 Arranque lagunas

<p><b>Consideraciones generales:</b> Las lagunas de estabilización recién fabricada no están capacitadas para recibir cargas orgánicas altas pues el efluente abarca muy pocos microorganismos naturales que puedan realizar la degradación debido a que durante el desarrollo de los frutos se usan temperaturas y presiones altas que los inhiben. Por tanto, se debe actuar con aumentos graduales de carga orgánica (efluentes).</p>			
PROCEDIMIENTO	PARÁMETROS DE CONTROL		
a) Llenar las lagunas anaerobias y facultativas con agua superficial. Estimar condiciones de impermeabilización, evaporación, resistencia a carga hidráulica en los taludes, funcionamiento	PARÁMETRO	SITIO MUESTREO	FRECUENCIA
	pH	Muestra compuesta de toda la laguna	Diaria
Afluente a la laguna		Diaria	
b) Adicionar aguas de la extractora, neutralizadas a	Alcalinidad total (ALK)	Toda la laguna	Diaria
c) Inocular con lodos adaptados en la zona de	Alcalinidad Bicarbonato	Toda la laguna	Diaria
	Relación de alcalinidades	Toda la laguna	Diaria
	Temperatura	A la entrada de la laguna	Diaria
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Toda la laguna	2 veces/semana
d) Se añade el efluente de extractora neutralizado, con el resto del flujo que no se adiciona a las lagunas metalogénicas en la etapa de arranque, se va llenando progresivamente la laguna de ecualización de caudales **Si $0,30 < R < 0,35$ , adicionar el mismo efluente del día anterior **Si $R < 0,30$ incrementar el flujo que llega entre un 10 y 20% del adicionado al día anterior **Si $R > 0,35$ y $pH > 6,5$ , no adicionar efluentes hasta que disminuya por debajo de esta cifra **Si $R > 0,35$ y $pH < 6,5$ adicionar cal en la laguna hasta que $pH > 6,5$ **Las alcalinidades, principalmente la bicarbonato (ABV) debe crecer progresivamente desde valores por debajo de 500 mg/l hasta valores superiores a 1500 mg/l cuando se haya superado el arranque			
e) Aproximadamente en tres (3) meses se espera			
f) De acuerdo con los resultados de laboratorio, la adición de cal se va quitando hasta que el mismo sistema pueda resistir todo el efluente de la		Afluente a la laguna	Una vez por cada incremento de COV

Fuente: Manual de Arranque O&M. (Nuñez, Junio de 2011)

### II.1.14 Cuadro No. 3 Operación y mantenimiento

<b>FUNCIÓN:</b> Recuperación de aceite ácido, reducir la carga contaminante hasta el valor solicitado por el la Autoridad Ambiental efectuar riego de la plantación con el efluente. Efectuar el manejo de lodos			
ACTIVIDAD	FRECUENCIA	PERSONAL	PROCEDIMIENTO
Control de Eficiencia del Tratamiento	Según Análisis	Operador y Laboratorista	Seguir instrucciones sobre sitios de muestreo y frecuencia de los parámetros de control especificados en la Tabla 3.3, durante la operación de las lagunas de estabilización
Recuperación de Aceite ácido de la laguna de enfriamiento y eculización de caudales	Según formación de capa de aceite.	Operador	Taponar la salida de la laguna de enfriamiento y provocar el desborde del la capa de aceite superficial a los fosos de recuperación laterales. Recoger el aceite ácido con carrotanques
Lagunas anaerobias	Según resultados laboratorio	Operador y Laboratorista	Aspectos y Acciones correctivas a tener en cuenta durante la operación de estas lagunas: ** Si pH<6,5, pasar el flujo directamente a la laguna anaerobia 2 ó se debe evaluar la posibilidad de pasar todo el flujo a través de la otra laguna metanogénica. Si el pH continúa bajo, a pesar de sacar la laguna de funcionamiento agregar cal hasta alcanzar pH>6,8 ** Si R>0,35 seguir las instrucciones del numeral anterior para pH. ** La alcalinidad total>2000 mg/l y ABV>1500 mg/l indican buen funcionamiento. ** <b>Si los sólidos totales&gt;10000 mg/l se debe purgar la laguna</b> ** La determinación del perfil de lodos sirve como indicativo para efectuar la purga de lodos y verificar que los lodos evacuados fueron suficientes.
Lagunas Facultativas	Según resultados laboratorio	Operador y Laboratorista	Aspectos y Acciones correctivas a tener en cuenta durante la operación de estas lagunas: ** Estar pendiente de los resultados del perfil de lodos para efectuar purgas y controlar espumas y natas que evitan la fotosíntesis ** DQO del efluente de la última laguna debe ser menor de 1000mg/l ** Sólidos Suspendidos del efluente de la última laguna deben ser menores de 500mg/l ** pH normales alrededor de 8,0

Fuente: Manual de Arranque O&M. (Nuñez, Junio de 2011)

ACTIVIDAD	FRECUENCIA	PERSONAL	PROCEDIMIENTO
Manejo de lodos	Según producción de lodos	Operador	Purgar las lagunas mediante las válvulas y sistema de bombeo ** Se ha dispuesto en el diseño la utilización de un lecho de secado , lo cual genera un abono sólido para la plantación ** En épocas de invierno se pueden colocar los lodos húmedos directamente en la plantación, con la utilización de carrotanques
Mantenimiento General	Periódicamente	Operador, obrero	** Mantenimiento de taludes, poda de pastos. El control de las malezas en los taludes interiores de las lagunas debe hacerse en forma manual o mecánica evitando que caigan al agua. ** Mantenimiento y limpieza de obras de arte de los sistemas de entrada y salida de las lagunas ** Para efectuar control de larvas de insectos, se pueden variar los niveles de las lagunas desde las estructuras de salida, de tal forma que las larvas adheridas a los taludes interiores queden sumergidas para que se ahoguen o completamente descubiertas para que se deshidraten

Fuente: Manual de Arranque O&M. (Nuñez, Junio de 2011)

## II. 2 Bombas de riego.

La bomba de riego se encarga de suministrar el caudal necesario a la instalación de riego a la presión requerida por los emisores para su correcto funcionamiento.

### II.2.1 Tipos de Bombas de Riego

El tipo de bombas que se utilizan en las instalaciones de riego se clasifican en función de la fuente de energía que requieren, así encontramos las siguientes:

**Electrobombas:** Funcionan mediante un motor eléctrico monofásico (230v) o trifásico (400v), dependiendo de la potencia que posee el motor eléctrico.

**Motobombas:** Emplean combustibles líquidos para su funcionamiento, ya que emplean motores de combustión. El combustible requerido suele ser gasolina en caso de motobombas de pequeño caballaje o gasoil para las de mayor potencia.

El uso de uno u otro tipo dependerá del acceso que tenga la finca al suministro de corriente eléctrica, ya que preferiblemente se instalan electrobombas en los cabezales de riego por su economía.



Se clasifican también en función de la altura de aspiración que tienen. La altura de aspiración es la cota a la que se instala la bomba por encima de la boca de la tubería aspiración de agua. Así se distinguen:

**Bombas sumergibles:** se utilizan cuando en los embalses de riego para eliminar los problemas de aspiración cuando la altura de aspiración es elevada. Se instalan bien en la superficie del embalse mediante el uso de flotadores o en una cámara de aspiración anexa que se llena por el principio de los vasos comunicantes.

**Bombas no sumergibles:** se colocan en la superficie del terreno y se utilizan cuando la altura de aspiración es baja o directamente no hay porque la bomba se instala a una altura menor a la boca de la tubería de aspiración.

Estas bombas a su vez se clasifican por la posición del eje de accionamiento, distinguiendo:

**Bombas horizontales:** se emplean para suministrar elevados caudales y bajas presiones. Son las bombas más usuales que se instalan en los cabezales de riego.

**Bombas verticales:** suministran elevadas presiones. (Agrícolas, 2020)

### **II.2.2 Variador de Frecuencia**

El variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor de la electrobomba. Es decir, un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

### **II.2.3 Instalación**

La instalación de variadores de frecuencia para el control de la bomba tiene dos objetivos:

El arranque y parada pausados de la bomba para evitar grandes sobrepresiones en el inicio del riego que puedan provocar situaciones de golpe de ariete en las tuberías. Además, al evitar el arranque a tensión plena del motor se evita el consumo tan elevado que se produce al inicio del riego. (Agrícolas, 2020)

El cambio de caudal en función de las necesidades de diferentes sectores de riego.

### **II.3 Los agitadores industriales.**

¿Qué es un agitador? Los agitadores son unos instrumentos utilizados en la industria, sobre todo en el sector químico, formados por una carilla de vidrio cuya principal función es agitar y mezclar líquidos o sólidos de baja densidad. El principal objetivo de estos agitadores es garantizar la homogeneidad de los componentes mezclados. Los agitadores de líquidos podrán ser de distintos tipos según sean de manejo portátil o fijo, así como de pinza universal, brida o de placa, todo ello para integrarse de la mejor manera al proceso que vayan a desempeñar. Los de montaje fijo podrán estar equipados con caja prensaestopas o sello mecánico. La transmisión podrá ser directa a 1750 rpm (revoluciones por minuto) o con reducción de los engranes helicoidales a 350 rpm. (Agrícolas, 2020)

#### **II.3.1 Tipos de agitadores industriales**

Según el fin del agitador industrial, podrá ser de los siguientes tipos:

Agitadores para reactores de montaje lateral con sello mecánico.

Agitadores portátiles con motor neumático de montaje por medio de pinza.

Agitadores montados en fijo, triple o móvil con motor eléctrico o de neumático, con caja de reductor de velocidad o directos.

Agitadores portátiles con motor eléctrico con una caja reductora de velocidad por medio pinza.

Agitadores para los laboratorios.

Agitadores con caja reductora de velocidad e inclinación vertical, montaje por brida.

#### **II.3.2 Usos**

Los agitadores podrán utilizarse para una suspensión de sólidos, para la homogenización de líquidos, para realizar una compleja reacción química, así como para la obtención de bebidas, cosméticos, detergentes, productos farmacéuticos, resinas, pinturas, etc. Los agitadores más habituales son los empleados en el sector químico, estos podrán ser de mezcla radial o para mezcla axial, según el movimiento ejercido por el agitador en el proceso de mezcla. Así, depende del procedimiento utilizado los agitadores químicos podrán clasificarse en: turbina, ancla, plancha, rejilla, impulsor, hélice, turbina, banda agitadora, etc. (Muñoz, 2011)

## **II.4 Aireadores.**

### **II.4.1 Resumen**

Estos sistemas de aireación de difusores fijos o retráctiles garantizan una transferencia eficiente de oxígeno en los procesos biológicos. Todos los sistemas de aireación son soluciones de diseño completas cuyo objetivo es adaptarse a la demanda de oxígeno y al tamaño y la geometría del depósito existentes en aplicaciones específicas. (S.R.L., 2020)

### **II.4.2 Características y ventajas**

Sistemas completos con un diseño específico pensado para satisfacer las demandas de oxígeno de los procesos.

Sistemas retráctiles: mantenimiento más sencillo.

Sistemas fijos: una opción económica para sistemas de grandes dimensiones.

Pueden utilizarse membranas, tuberías y soportes de distintos materiales, en función de cuáles sean las condiciones de funcionamiento del sistema.

Los soportes completamente ajustables para las tuberías, fabricados en acero inoxidable, aportan flexibilidad a la instalación.

### **II.4.3 Beneficios**

Sistemas completos pensados para satisfacer las demandas de oxígeno existentes.

Al tratarse de sistemas pre montados requieren un tiempo de instalación menor.

(S.R.L., 2020)

## **II.5 Mantenimiento en equipos industriales para plantas de tratamiento.**

### **II.5.1 Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I)**

Las Plantas de Tratamiento son un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen fisicoquímico o biológico, o combinación de ellos que están envueltos por fenómenos de transporte y manejo de fluidos.

### **II.5.2 Etapas del tratamiento de las aguas residuales**

#### **II.5.3 Tratamiento Preliminar**

Son las medidas que se utilizan para preparar las aguas residuales para el inicio del tratamiento, con ellas se logra la remoción de sólidos y arenas para proteger las bombas y otros equipos que forman parte del sistema de tratamiento, así como mejorar el aspecto estético de las aguas. Se conoce este tratamiento como desbaste.

El desbaste es una operación unitaria física utilizada para remover sólidos de gran tamaño, que puedan perturbar el funcionamiento normal de las unidades posteriores, o ya sea que se deseen utilizar como unidades recuperadoras de subproductos.

En esta etapa del tratamiento se pueden utilizar los siguientes accesorios o equipos:

Rejas gruesas

Rejas medianas

Rejillas

Cedazos finos

Desarenadores

Trituradores

Microfiltros.

De acuerdo con la separación que existe entre las barras que forman las rejillas se pueden clasificar en:

**Rejas Gruesas:** Si la separación entre barras  $d=5\text{cm}$ , con una inclinación de las barras de un ángulo con la horizontal de  $30^\circ$ .

**Rejas Medianas:** Si la separación entre barras  $d=2$  a  $5\text{ cm}$ , con una inclinación de las barras de un ángulo con la horizontal de  $45^\circ$ .

**Rejillas:** Separación de barras  $d=1$  a  $2\text{ cm}$ , con una inclinación de las barras de un ángulo con la horizontal de  $70^\circ$ .

**Cedazos Finos:** Son rejillas con separación del orden de  $1/4''$  a  $1/32''$  ( $6\text{mm}$  a  $1\text{mm}$  de separación) y también del orden de  $3/16''$  a  $3/32''$  ( $5\text{mm}$  a  $2.5\text{mm}$  de abertura).

**Desarenadores:** Son tanques de flujo continuo utilizados para separar arenas, y otros sólidos discretos de densidad superior a la del líquido cloacal, que por su naturaleza interfieren en la operación y mantenimiento de las unidades que siguen en el tratamiento, evitan la paralización del sistema por fallas en las bombas.

Estos tanques deben ser diseñados de tal manera que se separen las arenas del líquido residual, pero sin remover los sólidos orgánicos que están suspendidos en el agua. El parámetro principal para el diseño de los tanques desarenadores es la velocidad horizontal del flujo a través de la unidad que debe estar entre  $0.15$  y  $0.3\text{ [m/s]}$  independientemente de las variaciones de gastos, para garantizar su funcionamiento adecuado. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i, 2016)

**Trituradores:** Se colocan después de los desarenadores, cuando se espera un volumen apreciable de sólidos duros con el fin de desmenuzarlos para la protección

de las estaciones de bombeo u otras unidades de la planta de tratamiento que requieran dicha protección. Consisten en cilindros giratorios ranurados a través de los cuales pasa el líquido cloacal, donde los sólidos son cortados por engranajes dentados, disminuyendo su tamaño.

La operación de limpieza de estas unidades de desbastes puede ser manual o mecánica. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i, 2016)

#### **II.5.4 El tratamiento primario**

Tiene como objeto la eliminación de los sólidos orgánicos suspendidos y coloidales, de los sólidos sedimentables por medio de la floculación, y de los sólidos y líquidos flotantes que previamente no fueron removidos, además de la remoción de estos en forma de lodos o espumas.

##### **II.5.4.1 Algunos equipos utilizados en el tratamiento primario**

##### **II.5.4.2 Tanques sedimentadores metálicos**

Los tanques sedimentadores metálicos son estructuras fabricadas en láminas de hierro, en forma de cono truncado para lograr la sedimentación de los lodos, soportadas en bases fabricadas en vigas estructurales, ancladas al piso con pernos metálicos, fijados previamente a las fundaciones vaciadas en concreto armado.

Los tanques cuentan con escalerillas metálicas adosadas a un lado para permitir al operador realizar las actividades necesarias, en el interior se les construyen vertederos perimetrales, baffles perimetrales, y cuentan además con agitadores para mezclar el efluente con los productos químicos que se les adicionen (mezcla rápida y mezcla lenta).

##### **II.5.4.3 Sistemas de flotación por aire disuelto**

**DAF:** Es un equipo utilizado en los sistemas de tratamiento para eliminar los materiales suspendidos que contenga el efluente.

Están constituidos por un clarificador, un sistema para el manejo y control del aire a disolver para la flotación, un mecanismo separador de sólidos flotantes, un mecanismo colector de sólidos sedimentados, un equipo para dosificación de productos químicos, un compresor de aire, un tablero de control eléctrico, dos bombas de presurización, y un tanque de solubilización. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii, 2016)

### **II.5.5 Tratamiento Secundario**

Todo tratamiento secundario supone la aplicación previa de otros tratamientos denominados primarios de tipo: físicos donde se produce la separación de sólidos suspendidos mediante la sedimentación, flotación de partículas, o de acción físico químico donde se produce la separación de partículas con la ayuda de la coagulación floculación de sólidos presentes en estado coloidal.

Se puede proveer oxígeno a la laguna si el diseño lo requiere a través de agitadores mecánicos, o por difusión de aire en este caso se habla de lagunas aireadas.

#### **II.5.5.1 Algunos equipos utilizados en el tratamiento secundario**

##### **II.5.5.2 Sopladores de aire**

Son equipos utilizados en el tratamiento de efluentes residuales para el suministro de oxígeno para poder mantener vivas las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica en los procesos de lodos activados.

El funcionamiento es muy simple, están formados por dos rotores iguales montados sobre ejes paralelos y alojados en una carcasa que gira en direcciones opuestas; al girar los rotores el aire es aspirado hacia el espacio entre rotores y carcasa, donde queda retenido cuando un extremo del rotor pasa por la boca de aspiración. Al

continuar la rotación, el extremo opuesto del rotor pasa hacia la boca de impulsión y este aire retenido es impulsado. Se puede determinar la velocidad a la que el soplador debe funcionar para suministrar el caudal de aire requerido.

### **II.5.5.3 Bombas**

Son equipos mecánicos destinados para transportar un fluido desde un nivel de energía bajo a uno generalmente más alto.

Las bombas más utilizadas en los sistemas de tratamientos de efluentes son las de tipo sumergible que tienen el motor y la bomba integrada, de diseño compacto y robusto que ocupa muy poco espacio y son fáciles de manejar.

Están diseñadas para bombear líquidos con impurezas sólidas. La selección de la bomba a usar en las plantas de tratamiento depende de la cantidad y variación del caudal a tratar. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii, 2016)

### **II.5.6 Tratamiento Terciario**

En ocasiones particulares se hace necesario mejorar las características del efluente obtenido después de un tratamiento preliminar, primario y secundario, ya sea para adaptarlas a otro uso, o cuando por problemas particulares existe en un efluente organismos o sustancias que originen situaciones indeseables que provoquen la necesidad de la remoción con procesos adicionales de pulimiento antes de su disposición final.

#### **II.5.6.1 Algunos equipos utilizados en las plantas de tratamiento**

#### **II.5.6.2 Auto-Flush:**



Son accesorios utilizados en los sistemas de dosificación de productos químicos para el lavado automático de las bombas dosificadoras, sobre todo cuando se usan para dosificar mezclas que contienen cal que tiende a secarse y dañar los diafragma de esta. Al terminarse el bombeo del producto químico, el equipo automáticamente se limpia con agua por una señal del auto flush prolongando la vida de las bombas dosificadoras. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii, 2016)

### **II.5.6.3 Filtros Industriales:**

Son equipos utilizados en los sistemas de tratamiento para la retención de sólidos, y eliminar la turbidez. Los más utilizados son los de arena y carbón activado. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv, 2016)

### **II.6 Subproductos del proceso de extracción de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis* L.).**

En el proceso de beneficio del fruto de palma de aceite se generan varios subproductos de interés técnico y económico tanto para la planta de beneficio como para el manejo agronómico del cultivo de palma de aceite. Entre ellos se pueden citar: (a) las tusas o racimos vacíos, resultado del desfrutado de los racimos esterilizados de palma, (b) la fibra resultante del prensado del fruto, (c) el cuesco obtenido del rompimiento de la nuez, (d) las cenizas producidas por la quema de fibra y cuesco en las calderas y (e) los lodos de fondo retirados de la laguna anaerobia del sistema de tratamiento de aguas. (Marquez, conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv, 2016)

De la biomasa generada se destaca el uso de un alto porcentaje de fibra y cuesco como combustible en la caldera para producción de vapor y electricidad. Buena parte de la

tusa se envía al campo como acondicionador del suelo en plantaciones de palma de aceite. Con el fin de contribuir a la reducción del impacto ambiental del sector palmero, es necesario ajustar las prácticas de manejo de los subproductos generados en plantas de beneficio, desde el inicio del proceso de la cadena productiva.

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

Mayor reciclaje de nutrientes en el suelo con la adecuada aplicación en el campo de las tusas, lodos y cenizas, dados los altos contenidos de nutrientes de estos tres subproductos.

Disminución en los costos y requerimientos de fertilización con productos químicos, debido a que la fertilización se complementa con subproductos naturales de la palma de aceite.

Reducción de pérdidas de aceite en las plantas de beneficio, como resultado de la implementación de los procesos y tratamientos aquí recomendados para el manejo de las tusas luego del desfrutado.

Manejo ambientalmente adecuado, de forma tal que se previenen potenciales efectos negativos al agua, suelo, ecosistemas y población humana causados por prácticas inadecuadas de almacenamiento, transporte y disposición de estos subproductos.

### **II.6.1 Tusa**

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

### **II.6.2 Lodo de fondo**

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

### **II.6.3 Ceniza**

Producto resultante de la combustión de la mezcla de fibra y cuesco en la caldera de las plantas de beneficio. El uso de las cenizas en el sector palmero se ha enfocado a la aplicación directa en el suelo de las plantaciones y a complementar los procesos de producción de compost, por sus importantes contenidos de potasio. Por cada tonelada de racimo de fruta fresca procesado, se obtienen entre 4 y 6 kg de ceniza, cuya estructura es granular y porosa, de tamaño fino en su mayor parte, pero también se encuentran partículas grandes. (Angarita & Contreras , 2011)

### **II.7 Aprovechamiento de subproductos del proceso de extracción de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis* L.).**

Para (Chinchilla A & Durán, 1997) Los suelos en que se ha sembrado la palma aceitera en América tropical, en general, han sufrido un manejo deficiente que ha afectado desfavorablemente sus características físicas, químicas y biológicas a través de los años.

La recuperación de los suelos agrícolas implica entre otras cosas, aumentar el contenido de materia orgánica, para mejorar las características físicas y biológicas. Por otra parte, los desechos del procesamiento de los frutos de la palma aceitera (racimos vacíos, efluentes, lodos, etc.) pueden ser fuentes importantes de contaminación ambiental. Su aplicación directa al campo además de un problema

económico, debido a los volúmenes altos de material que deben ser movilizados para su aplicación, pueden provocar inmovilizaciones de nutrientes y anaerobiosis si se hace formando capas gruesas de material. Por último, las capas de racimos vacíos pueden constituir un sustrato para diferentes plagas como ratas, *Stomoxys calcitrans* y *Musca domestica* entre otros, poniendo en peligro la salud de animales y personas. (Chinchilla A & Durán, 1997)

El proceso de compostaje de estos desechos y su conversión en un abono orgánico tiene el potencial de solucionar tanto el problema ambiental, como el de degradación de los suelos, sin dejar de lado la interesante propuesta de rentabilidad económica que justifica su ejecución en escala comercial.

El objetivo del proyecto de compostaje es producir, a partir de residuos del proceso de extracción del aceite, un abono orgánico de alta calidad, a través de un proceso que pueda repetirse y que sea económicamente viable. (Chinchilla A & Durán, 1997)

### **II.7.1 Características físicas y químicas de la materia prima**

Los racimos vacíos y las aguas lodosas (efluentes) son los principales subproductos del proceso de extracción del aceite. En la planta extractora en donde se realiza este proyecto, aproximadamente el 22% de la fruta fresca corresponde a racimos vacíos, los mismos son cortados y prensados para recuperar parte del aceite que absorben durante el cocinado (aproximadamente un 0.4% cuando la extracción es mayor que 22.5%). Adicionalmente se producen entre 800 y 900 litros de efluente por tonelada de fruta fresca procesada. (Chinchilla A & Durán, 1997)

El control de la temperatura es fundamental durante la evolución del proceso de compostaje, durante las primeras 6-8 semanas es común obtener entre 60 y 70°C, la temperatura desciende paulatinamente en las semanas posteriores hasta situarse entre 40-45°C cuando se alcanza la madurez del compost.

El uso de estos dos parámetros define la aplicación de efluentes y la aireación de la materia prima, por lo que se hace necesario medir ambas cada dos días, esta medición se hace en el centro vertical de la cama de compostaje.

### **II.7.2 Preparación del área seleccionada.**

Se debe limpiar las malezas o cultivos presentes, inclusive remover las primeras capas de suelo si la cantidad de raíces o materia orgánica es excesiva, esto dará soporte a la infraestructura de caminos que se debe construir y facilitará las etapas de nivelación y compactación del terreno. La nivelación debe ser precisa, de la misma dependerá la vida útil de los caminos y canales que se construyan.

### **II.7.3 Construcción de infraestructura.**

En esta etapa se construyen las lagunas receptoras del efluente proveniente de la extractora y los canales donde irán las tuberías que alimenten los canales de cada cama de compost.

### **II.7.4 Adquisición de equipos.**

Para este proyecto fue necesaria la adquisición de los siguientes equipos:  
Equipo de volteo para la fibra de racimos vacíos El proceso de compostaje utilizado es aeróbico, por lo tanto, la oxigenación del sustrato es fundamental para la supervivencia y multiplicación de hongos y bacterias que transforman la materia prima en compost. Con este objetivo se adquirió la máquina de volteo.

### **II.7.5 Transporte de la materia prima de la planta extractora al patio de compostaje.**

Utilizando un tractor y una carreta de volteo hidráulica se transporta la totalidad de la fibra de racimos vacíos proveniente de la planta extractora hacia el patio de compost. La misma se deposita formando líneas de material a lo largo de las camas de compostaje, el diseño de la carreta de transporte debe estar acorde a la capacidad de

los equipos de volteo y el tractor adquirido, ya que la altura y ancho de esa fila de material debe acomodarse a los tamaños de éstos. (Torres, 1998)

#### **II.7.6 Aplicación de efluentes y volteo (aireación) de la fibra**

En este proceso intervienen el tractor, el sistema de bombas y el equipo de volteo.

#### **II.7.7 Transporte del compost.**

Una vez finalizado el proceso de compostaje, se debe empacar, transportar y aplicar en la plantación.

#### **II.7.8 Aplicación del compost en la plantación.**

Actualmente todo el compost producido se utiliza en las plantaciones

#### **II.7.9 Uso de tusas en compostaje**

El compostaje es un proceso de degradación biooxidativo, controlado y realizado por organismos benéficos que, en presencia de humedad, a temperatura adecuada y bajo condiciones aerobias, utilizan los nutrientes contenidos en la materia para transformarla hasta obtener un producto homogéneo denominado “compost”. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Diciembre de 2011)

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

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

#### **II.7.9.1 Localización e instalaciones.**

Cerca al sitio de generación de subproductos y de fácil acceso vehicular y de maquinaria, con piso de baja permeabilidad para facilitar la recolección de los lixiviados y manejarlos de forma adecuada.

**II.7.9.2 Materia orgánica.** Relación equilibrada de C/N, un contenido de humedad alrededor del 60-70% y que naturalmente contenga mayores concentraciones de nutrientes.

**II.7.9.3 Relación carbono/nitrógeno.** De esta relación depende en gran medida el tiempo que tarde la degradación de los subproductos.

**II.7.9.4 Tamaño de la tusa.** Picar hasta obtener un tamaño adecuado que facilite una buena superficie de contacto e intercambio de oxígeno y gas carbónico (CO<sub>2</sub>), entre otros.

**II.7.9.5 Dimensiones de la pila.** Debe ser de un tamaño ideal para facilitar las prácticas de volteo o aireación y de humedecimiento, las cuales van a depender de la metodología y equipos disponibles para su elaboración.

**II.7.9.6 Inoculación.** Permite acelerar la descomposición y el biosecado de las pilas de compostaje.

**II.7.9.7 Humedad.** Mantener el balance de humedad en la pila de compostaje. Debe oscilar entre 60 y 70%.

**II.7.9.8 Temperatura.** Controlar y hacer seguimiento a la temperatura durante el proceso, en especial para que en la fase termófila se acerque a los 60 °C, y con ello facilitar la eliminación de los patógenos y generar un ambiente ideal para las bacterias termófilas.

**II.7.9.9 Aireación.** Garantizar una buena y oportuna aireación utilizando equipos que permitan el rápido volteo de la pila. De esta actividad se deriva un adecuado suministro de oxígeno para la degradación microbiana, además del control indirecto de la temperatura y de la humedad.

Poco a poco las empresas palmeras han venido buscando sistemas para el buen manejo de los subproductos, no solo para generar ingresos adicionales, sino también para dar respuesta a una responsabilidad ambiental que muy pronto se convertirá en mandato legal, y las exigencias de calidad integradas a los procesos productivos. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Diciembre de 2011)

#### **II.7.10 Lodo de fondo**

Es un subproducto semisólido generado durante el tratamiento del efluente de las plantas de beneficio de palma de aceite, que corresponde a lodos estabilizados acumulados en el fondo de la laguna anaerobia de dichos sistemas de tratamiento; con el tiempo reducen la capacidad del sistema, por lo que es necesario retirarlos del fondo de la laguna. Considerando su importante contenido de nutrientes, es de suma importancia aprovecharlo en el cultivo. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, 2011)

##### **II.7.10.1 Eficiencia del tratamiento de efluentes.**

Suministrar bacterias a la laguna anaeróbica teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de cada empresa; así es posible reducir la frecuencia de su limpieza y



mantener una actividad alta de microorganismos para la rápida y completa descomposición de los sólidos. La adición de bacterias nativas a las lagunas se puede verificar con la determinación de la relación búffer en el laboratorio, la cual debe mantenerse entre 0,20 y 0,30 para garantizar la alimentación continua de efluente. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, 2011)

#### **II.7.10.2 Identificar y remover los lodos de fondo.**

**Realizar perfil de lodos.** Identificar en la laguna los puntos clave en los cuales el lodo acumulado debe ser retirado o bombeado, realizando un perfil de lodos.

**Remover periódicamente los lodos del fondo de las lagunas.** Prevenir la “colmatación”, evacuando los lodos cuando su altura sea superior a la tercera parte de su profundidad o cuando al realizar medición de sólidos sedimentables, la altura que se tenga de lodos sea superior a  $400 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Si se va a purgar la laguna, los sólidos sedimentables deben encontrarse por encima de  $900 \text{ mL L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

**Restricciones para la evacuación del lodo.** No retirar todo el lodo del fondo, pues hacerlo desestabilizaría el sistema de la laguna y afectaría la integridad del revestimiento creado sobre la tierra. Tener en cuenta el perfil de lodos realizado previamente.

**II.7.10.3 Secado de lodos.** Debido al alto contenido de humedad (90-95%), este se debe reducir hasta alcanzar valores por debajo del 75% p/p. El secado de los lodos al aire libre se realiza en lechos de secado. Tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El lecho debe ser simple, permeable, que permita recolectar los lixiviados y secar el lodo por evaporación. El área y diseño del lecho de secado corresponde a la capacidad del sistema de tratamiento de cada planta. (Elizabeth Tilley, 2014)

Impermeabilizar el piso del lecho de secado y tener una sección de tubos perforados que drenen el lixiviado para su posterior recolección.

Ubicar encima de los tubos capas de arena (entre 20 y 30 cm) y grava (20 cm) para sostener el lodo y permitir que el líquido se infiltre y sea recolectado en la tubería.

Se recomienda que la carga aproximada de lodos sea de 200 kg/m<sup>2</sup> de sólidos totales aplicada en capas delgadas de entre 20 y 30 cm.

La deshidratación de los lodos se hace durante un periodo aproximado de 2 a 3 semanas hasta que sea manipulable con pala.

Después de la deshidratación, retirar el lodo seco y verificar el espesor del lecho de arena y si es necesario se debe completar con más arena.

El lixiviado obtenido requiere tratamiento secundario, puede ser enviado nuevamente al sistema de tratamiento de efluente.

### **II.7.11 Ceniza**

Producto resultante de la combustión de la mezcla de fibra y cuesco en la caldera de las plantas de beneficio. El uso de las cenizas en el sector palmero se ha enfocado a la aplicación directa en el suelo de las plantaciones y a complementar los procesos de producción de compost, por sus importantes contenidos de potasio. Por cada tonelada de racimo de fruta fresca procesado, se obtienen entre 4 y 6 kg de ceniza, cuya estructura es granular y porosa, de tamaño fino en su mayor parte, pero también se encuentran partículas grandes. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Diciembre de 2011)

#### **II.7.11.1 Al retirar la ceniza del hogar de la caldera, del ciclón o multiclones.**

Realizar una aspersión con agua para facilitar su manejo y no permitir su dispersión en el ambiente.

#### **II.7.11.2 Recolección y almacenamiento.**

Colectar la ceniza junto a la caldera en recipientes que impidan su derrame dentro de la planta de beneficio. En caso de ser necesaria la acumulación de ceniza en la planta de beneficio, almacenarla en un lugar cerrado donde se evite que las lluvias o el viento puedan arrastrarla (se recomienda una zona con piso impermeable y techo).

#### **II.7.11.3 Determinación porcentual de la relación másica.**

Pesar la ceniza producida en la planta y posteriormente transportarla en vagones o contenedores cubiertos hasta la parcela o lote para su aplicación.

#### **II.7.11.4 Dosis y aplicación.**

Después de tener el plan de aplicación de cenizas conforme a un programa de complementación de la fertilización del cultivo, se recomienda priorizar suelos ácidos con valores de pH menores de 5,5 en áreas para siembras nuevas y de renovación, en las cuales las dosis oscilan entre 1 y 2 t ha<sup>-1</sup>. Para aplicación localizada de ceniza en palmas con déficit de potasio y magnesio se recomiendan dosis de 1-3 kg por palma aplicada en toda el área del plato, sin que entre en contacto directo con los tejidos vegetales. Incorporar la ceniza al suelo en las calles de palera mediante la utilización de una rastra muy superficial que permita el contacto de la ceniza con el suelo para un mayor aprovechamiento. Es posible utilizar la ceniza en palmas de vivero como suplemento nutricional. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Diciembre de 2011)

#### **II.7.11.5 Utilización de los Residuos del Campo y de los Subproductos de la Planta Extractora**

En las plantaciones y en las plantas de beneficio de la palma de aceite se generan varios subproductos y residuos orgánicos. Estos materiales pueden reciclarse en las plantaciones como fuente de nutrientes, como fuentes de energía para los procesos de la planta extractora o para la fabricación de una serie de productos derivados para la agricultura y otras industrias.

Los principales materiales disponibles incluyen. residuos del campo (hojas podadas, troncos y hojas en la replantación), desperdicios de las plantas extractoras [racimos desfrutados (RD). efluente de la planta extractora de aceite de palma (EPEAP), cuesco de la nuez, fibra del mesocarpio. lodo de la clarificación y torta de la almendra de palma]. Ahora examinaremos el valor agronómico de estos materiales y consideraremos los usos Industriales alternativos. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigacion en Palma de Aceite, 2011)

#### **II.7.11.6 Utilización de los residuos del campo, las hojas podadas**

Las hojas se cortan en la cosecha y durante rondas periódicas de poda (1-3 rondas año<sup>1</sup>). En los plantíos adultos, cada palma produce 20-30 hojas año o alrededor de 101 de materia seca ha. Las hojas podadas contienen una gran cantidad de nutrientes. Los folíolos contienen alrededor del 80% del N y la mayor parte del P y Mg disponibles en las hojas podadas mientras que todas las otras partes de las hojas podadas contienen grandes cantidades de K. La liberación de los nutrientes de las hojas podadas es bastante rápida y en un experimento en Malasia alrededor de 43% del N, 63% del P.

76% del K y 60% del Mg contenidos en las hojas podadas fueron mineralizados (principalmente partir de los folíolos) cerca de 24 semanas después de la poda. Las cantidades de N y K reciclados representan así una proporción significativa de la absorción anual del N y K, y de este modo una parte importante del ciclo de nutrientes en las palmas adultas.

La ubicación adecuada de las hojas en el campo es un tema muy discutido. Las hojas pueden distribuirse sobre las líneas entre hileras para suministrar una cobertura al suelo para minimizar los efectos de la salpicadura de la lluvia y el lavado superficial, conservar la humedad del suelo, contener el crecimiento de malezas y minimizar la erosión del suelo, especialmente en terreno inclinado, en donde las hojas deberían disponerse a lo largo de las curvas de nivel. Comúnmente se practica el apilado de las

hojas entre las hileras de las palmas, sin embargo, en algunas compañías se prefiere cortar la hoja en dos pedazos y colocando el peciolo en la pila de hojas y la porción raquis más foliolos en la interlinea. Debería evitarse el apilado excesivo de hojas ya que esto tiende a estimular la cría de roedores y obstaculiza el movimiento de vehículos.

En Malasia, se ha recomendado la utilización de las hojas podadas como una fuente de fibra para la fabricación de productos de tablas o tableros, papel y pulpa. Sin embargo, los costos son altos y la logística de recolectar materiales desde el campo parece requerir un costo alto y un uso intenso de mano de obra, volviéndose este uso antieconómico. En un experimento en Malasia, el rendimiento se redujo en 11% cuando todas las hojas podadas se sacaron del campo. Así, en vista de las considerables ventajas económicas de mantener las hojas podadas en el campo, no se aconseja la remoción de hojas enteras, pero podría considerarse la utilización parcial (es decir sólo los peciolos).

#### **II.7.11.7 Troncos y hojas en la resiembra**

En la resiembra, una gran cantidad de la biomasa aérea, contenida en los troncos y hojas, está disponible. La materia seca total se divide entre los troncos (75 t ha) y las hojas (15 t ha) y el contenido total de nutrientes es grande.

Además de suministrar material para la restauración de la materia orgánica del suelo, la biomasa en pie suministra un equivalente de 870 kg de urea, 305 kg de RF, 1000 kg de KCI y 552 de Kieserita ha<sup>1</sup>. La quema destruye la materia orgánica y la mayor parte del N y S se pierde del sistema. Actualmente, la quema no es aconsejable y hasta se ha prohibido en algunos países debido a los efectos ambientales por la contaminación del humo. Los métodos de quema cero son más aceptables desde el punto de vista ambiental y mejoran el reciclado de nutrientes y materia orgánica que ayuda a mantener la fertilidad del suelo durante largo tiempo. Sin embargo, se necesitan medidas preventivas para restringir posibles daños por *Oryctes* y ratas que anidan en los troncos talados en descomposición y en las hojas podadas. Además, para

reducir al mínimo la cantidad de inóculo de Ganoderma (en Malasia) transportada al plantío vecino, deberían considerarse los siguientes pasos:

Excavar la parte inferior de los troncos y la masa de raíces para traer a la superficie el tejido infectado con Ganoderma.

Promover el establecimiento rápido de las coberturas de leguminosas sobre los troncos desmenuzados o inter-hileras para restringir los sitios de cría del *Oryctes*.

Envenenar las palmas antes de la tala (tumba) para aumentar la velocidad de descomposición.

Desmenuzar o astillar los troncos de las palmas para aumentar la superficie disponible para los organismos causantes de la descomposición.

Conservar la materia orgánica practicando la quema cero (sin quema).

Algunas investigaciones en Malasia han demostrado cierto potencial para el uso del tronco y de las hojas como materia prima para la fabricación industrial (Husin et al., 1986; Theo y Chia. 1993), El interés principal es utilizar las fibras contenidas en los haces vasculares para la fabricación de papel, tableros contrachapados y aglomerados. Si bien los defectos en la calidad de la fibra y en la densidad de la madera pueden ser superados, hasta ahora ha habido poco interés demostrado por la industria. El tejido de las hojas y del tronco, también puede ser compactado en bolitas (pellets) de alta densidad para combustible sólido, o preparado para producir un suplemento para alimento de rumiantes. No obstante, se recomienda definitivamente el reciclado de la materia orgánica y el contenido de nutrientes de los troncos, antes que el uso industrial.

#### **II.7.11.8 Residuos de la planta extractora, racimos desfrutados (RD)**

Los racimos desfrutados representan 22-25% del peso de los racimos de fruto fresco (RFF) procesados. Los racimos desfrutados pueden restituirse al campo como una capa protectora o mantillo (mulch), ser incinerados para producir ceniza de racimos o utilizarse en el sitio de la planta extractora como una fuente de combustible. Las

grandes cantidades de materia orgánica y los nutrientes en los RD los vuelven un mantillo excelente. Sin embargo, el alto contenido de humedad (60-70%) limita su uso en el campo. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Los RD producidos en una plantación que rinde 22 RFF ha, son suficientes para cubrir 10% del área adulta (a una tasa de aplicación de 50 t de RD ha) a para aplicar mantillo a toda el área joven presumiendo que-10% de la plantación es joven). La distribución de los RD dentro de una plantación depende de la logística asociada con la distancia desde la planta extractora y la topografía del campo debido al costo relativamente alto implicado en el transporte de los RD. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Los informes encontrados en la literatura indican que hay una variación considerable en el contenido, de nutrientes de los RD. El nutriente contenido en mayores cantidades es el K, con cantidades más pequeñas de N y Mg. El contenido de P es pequeño y de significación agronómica limitada. También hay cantidades significativas de micronutrientes (B, Cu, Zn, y Fe). (Chinchilla A & Durán, 1997)

Una aplicación de 50 t RD ha<sup>-1</sup> proporciona la mayor parte del K requerido por las palmas adultas, pero se requerirán cantidades adicionales de fertilizantes de N, P y MG. Los RD se descomponen rápidamente en el campo, perdiendo 50% de su peso en los tres primeros meses después de la aplicación (Rosenani et al., 1996), y generalmente la descomposición es casi completa seis meses después de la aplicación en el campo. Puesto que el K está contenido en la savia de las células se libera más rápidamente que el N y el P. La tasa de descomposición puede aumentarse por la adición de fertilizante mineral de N. (Chinchilla A & Durán, 1997)

#### **II.7.11.9 Aplicaciones de RD en el campo en palmas jóvenes**

Hay muchos informes sobre las ventajas de la aplicación de los RD a las palmas jóvenes El crecimiento se mejora y el periodo Improductivo se reduce, y esto

generalmente conduce a conseguir rendimientos precoces mayores. En un suelo de la serie Malacca en donde se aplicaron 37.5 t de RD anualmente desde la iniciación del plantío los rendimientos se incrementaron en 75%. Son típicas las aplicaciones 15-30 t ha, distribuidas en una sola capa en la corona circular de la palma.

(Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, Diciembre de 2011)

Se aconseja la aplicación temprana para conseguir la mayor ventaja durante el periodo joven. De este modo, los RD deberían aplicarse inmediatamente después del trasplante con operaciones repetidas en el segundo y tercer año después del trasplante al campo. Se puede evitar el daño del *Oryctes* siempre que una corona circular amplia de 1.5 m de radio alrededor de la base de la palma se mantenga limpia de RD y se sigan métodos de control biológico. Generalmente los ciclos de desyerba se pueden reducir porque el mantillo de los RD restringe el crecimiento de malezas en la corona circular de la palma. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, 2011)

Generalmente, la respuesta máxima en rendimiento se logra solo aplicando el mantillo de RD en combinación con fertilizantes minerales.

En donde se aplican el mantillo de RD y los fertilizantes minerales, la concentración de K foliar aumenta, a menudo se mejora el tenor foliar del N. P y Cl y aumenta la concentración del P y K en el raquis, pero se reduce el Ca en el raquis probablemente debido al hecho de que la mayor parte del Ca se acumula en los folíolos cuando la tasa de transpiración es más elevada. El análisis del suelo generalmente muestra mejoras en la concentración de todos los cationes intercambiables (K, Ca, Mg) y el K extraíble. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigación en Palma de Aceite, 2011)



El efecto de los fertilizantes suplementarios en el desempeño de la palma parece variar con el tipo de suelo. En Malasia, a menudo se aplican N y P suplementarios y un programa típico de 75 t RD ha combinación con fertilizantes minerales. con 0,75 kg de urea y 1.0 kg de roca fosfórica palma aplicados cada dos años. Se presume que 75 t RD ha suministran todos los requerimientos de K y Mg para la palma. En los suelos volcánicos, la adición del K como KCI eleva el efecto de los RD en el comportamiento de la palma. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigacion en Palma de Aceite, 2011)

Los racimos desfrutados pueden utilizarse como sustituto parcial de los fertilizantes minerales, sin embargo, el requerimiento de nutrientes suplementarios debe determinarse sea calculando. los presupuestos de nutrientes (nutrientes proporcionados por los RD menos los nutrientes requeridos por las palmas) o a partir de experimentos de fertilización y análisis foliar para ambientes particulares.

Comúnmente se usan tasas de aplicación anual de 30-60 t ha. Tasas mayores de 80 t ha<sup>-1</sup> pueden usarse en un ciclo de 18 meses a 2 años, pero no se recomiendan dosis por encima de esto. En realidad, hay algunas evidencias que las dosis excesivas pueden ser perjudiciales para el comportamiento de la palma, especialmente en áreas con alta precipitación. En Papúa Nueva Guinea, los racimos desfrutados aplicados a 120 t ha causaron condiciones anaeróbicas en el suelo que afectaron adversamente a la producción de racimos de frutos (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigacion en Palma de Aceite, 2011).

#### **II.7.11.10 Aplicación en el campo de RD en palmas adultas**

El costo y los problemas logísticos de restituir los RD al campo son las principales limitaciones para una aceptación más amplia de la capa protectora de RD en la industria de palma de aceite. Por lo general, las ventajas económicas pueden demostrarse y (Gurmit Singh 1994) estimó réditos netos de USD 200 ha, basándose

en un aumento del rendimiento de 15% y ahorro de fertilizante de USD 160 ha. (Chinchilla A & Durán, 1997)

El primer paso es decidir donde deberían aplicarse los RD. Debería prepararse un mapa de la hacienda que muestre los bloques donde es factible la aplicación del mantillo de RD y que probablemente va a ser beneficioso, basándose en el tipo del suelo y la topografía y en el comportamiento de la palma. Hay una posibilidad considerable de transferir nutrientes de suelos con alta fertilidad a otros de baja fertilidad, dentro de una plantación mediante la aplicación de RD. (Chinchilla A & Durán, 1997)

En el diseño de un sistema eficiente para el transporte de los racimos desfrutados al campo, deben considerarse los siguientes pasos:

Descarga de los RD del transportador a una plataforma de transporte apropiada.

Transporte de la planta extractora al campo, métodos de distribución en el campo.

Las operaciones más eficientes son aquellas que permiten una carga rápida de los camiones en la planta extractora, utilizando tolvas elevadas o frontales. También se requiere una flota transporte bien coordinada (tractores-remolques o volquetes) y un medio de distribución uniforme de los RD en toda el área escogida. En teoría debe ser posible utilizar vehículos de transporte para los RD en los viajes de regreso desde la planta extractora, pero esto rara vez funciona efectivamente en la práctica y generalmente es indispensable dedicar una flota de transporte solo para el traslado de los RD al campo. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Diferentes compañías han empleado una variedad de vehículos para distribuir los racimos desfrutados. La mayoría de las haciendas en Malasia son notablemente mecanizadas y se usan minitractores para distribuir los montones de racimos volteados a intervalos en el campo. Con cualquier sistema que se use, el objetivo

deberá ser lograr una distribución uniforme de los RD sobre la superficie del suelo dejando las coronas circulares de las palmas y los caminos despejados (no obstruidos). Los RD no deberían estorbar otras operaciones de campo, especialmente la cosecha y el transporte de los RFF. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Uno de los mejores sistemas disponibles ahora es el remolque Giltrap (de 6 toneladas de capacidad) con un transportador horizontal de alimentación halado por un tractor 4 WD. Los RD pueden distribuirse a la velocidad requerida ajustada a la velocidad delantera del tractor. El método más práctico es aplicar los RD en las interlineas (Inter hileras) ocupadas por las hojas, pero de ser necesario, se puede adaptar láminas dobladas para apartar los racimos del camino de cosecha. Un aspecto esencial de este sistema es que un vehículo único completa la operación desde la planta extractora hasta el campo. (Chinchilla A & Durán, 1997)

#### **II.7.11.11 Producción y uso de la ceniza de racimos (CR) a partir de los RD**

La incineración de los racimos desfrutados para producir ceniza de ellos es el método más fácil de tratamiento para eliminar los racimos desfrutados. El volumen se reduce notablemente (la ceniza de racimos equivale al 0.5% del peso de los RFF y al 2% del peso de los RD) pero hay objeciones ambientales significativas para la incineración que ahora está prohibida en algunas áreas.

El valor principal de la CR usada en el campo se asocia con su contenido de K. La CR fresca contiene alrededor de 34% de K. La ceniza de racimos es muy higroscópica, y por esto debe conservarse fresca y utilizarse inmediatamente después de la incineración ya que la concentración de K puede reducirse a 15-20% después de que la ceniza ha acumulado humedad durante el almacenamiento. La ceniza de racimos debiera analizarse periódicamente y las tasas de aplicación ajustarse cuando se utiliza como un sustituto del fertilizante K. (Chinchilla A & Durán, 1997)

La ceniza de racimos es fuertemente alcalina (pH i=12 y por eso es particularmente útil en suelos de turba y en los suelos sulfato ácidos (en donde ayuda a mejorarlos aumentando la velocidad de mineralización del N) pero generalmente es menos efectiva que la cal en polvo. Estos suelos la ceniza de racimos puede ser un sustituto del KCL Debido a su efecto de aumentar el pH, se obtuvieron respuestas más altas en el rendimiento a partir de la CR comparada con la cantidad equivalente de K aplicada como KCI en los suelos sulfato ácidos de Malasia (Toh et al., 1981). Sin embargo, se debería aplicar fertilizante nitrogenado por lo menos seis semanas después de una aplicación de CR para prevenir una deficiencia de N, debido a pérdidas de N después de una rápida mineralización de la fracción orgánica del suelo. (Chinchilla A & Durán, 1997)

#### **II.7.11.12 Uso RD como una fuente de combustible**

Los racimos desfrutados pueden utilizarse en el sitio como combustible por incineración, pero primero el material debe astillarse y luego reducir su contenido de humedad. Se estimó una restitución anual sobre la inversión de alrededor de USD 250 000 para una planta extractora que procesa 100 000 t RFF año<sup>1</sup> incluyendo el valor del aceite residual y de las almendras recuperadas cuando se quemaban los RD como combustible (Gurmit Singh et al., 1989).

#### **II.7.11.13 Producción de compost a partir de los RD**

Ensayos conducidos en la década de 1980 demostraron que se puede producir un buen compost a partir de los RD (Lim, 1990) pero no fue sino a fines de la década de 1990 que se diseñó un proceso confiable, para uso comercial. Los RD tienen una alta relación C: N de alrededor de 50, la que se reduce al preparar compost a <20 el estándar aceptado para el compost bien preparado. La alta relación C: N inicial declina debido a una degradación rápida de los compuestos de carbono fácilmente disponibles y a la adición del N en el EPEAP o fertilizante Inorgánico. (Nuñez, Junio de 2011)

En el proceso actual de compostaje, los RD se preparan en hileras (de 2 m de altura y 3 m de ancho) en un sitio cercano a la planta extractora. Las hileras se voltean frecuentemente (aireación) utilizando una máquina de volteo autopropulsada. El EPEAP se agrega a intervalos para suministrar una humedad óptima (aproximadamente 60%) y mejorar el contenido de nutrientes. Por lo menos durante las primeras semanas del proceso, las hileras se cubren para excluir la humedad excesiva de la lluvia. (Nuñez, Junio de 2011)

El tiempo tomado para completar el proceso de preparación del compost depende de las condiciones prevalecientes y de los requerimientos del uso final (p.ej., la aplicación en el campo, llenado de bolsas de polietileno, venta para la industria hortícola) fluctuando desde 10 semanas (S. Chong, Asia Green Environmetal Sdn Bhd, com. pers.) a 22 semanas. Los factores esenciales son la relación C: N inicial (óptima 20-40), el contenido de humedad (45-65%), la temperatura del proceso (43-65 °C), el nivel del oxígeno (5%), y un tamaño de partícula menor de 5 cm.

Se están investigando los medios de proporcionar las condiciones óptimas para la preparación del compost Los asuntos claves todavía por resolverse, incluyen:

La necesidad de desmenuzar los RD antes de amontonarlos en las hileras. El uso de un inóculo para estimular la biodegradación. La cantidad de EPEAP agregada, y en frecuencia de volteo de las hileras de RD. Informan que se puede agregar 3-5 m<sup>2</sup> de EPEAP a cada tonelada de RD durante el proceso de preparación del compost (mantillo). Se puede utilizar todo el EPEAP producido, causando un sistema de descarga de efluente cero. Es probable que otros materiales de desperdicio, tales como la fibra del mesocarpio, el lodo de la decantación y la ceniza de la caldera también puedan reciclarse en este proceso, se ha informado que la cantidad de compost producido fluctúa entre 55-70% de los RD en peso. El costo de producir compost vario de USD 7 +<sup>1</sup> (Lord et al. 2002) hasta USD 13-20 t<sup>1</sup> (Asia Green Environmental Sdn Bhd, com pers.). El valor de los nutrientes (a los precios de 2002) se calcula en USD

14 t en Papúa Nueva Guinea (Lord et al., 2002) y USS 12+ en Indonesia (Schuchardt et al., 2002).

Una ventaja importante del compost preparado es la gran reducción en volumen de los RD para la utilización en el campo hasta 70% (Siregar et al., 2002): Asia Green Environmental Sdn Bhd, com. per) El contenido de nutrientes del compost de RD EPEAP publicado por diferentes investigadores. Para cada ambiente deben determinarse las tasas apropiadas de aplicación, a partir de los ensayos de campo. Las tasas comunes recomendadas para los suelos volcánicos de Papúa Nueva Guinea son de 5 t ha año (Lord et 2002), 7 t ha<sup>-1</sup> año para el Norte de Sumatra (Schuchardt et al., 2002b) y 6 tha<sup>1</sup> año para los suelos de tierra adentro de Malasia (Asia Green Environmental Sdn Bhd, com. pers.) complementadas con 340 kg de muriato de potasio ha<sup>1</sup> año. (Nuñez, Junio de 2011).

La variación en contenido de nutrientes se debe en gran parte a la cantidad de EPEAP agregada. Se estima que el compost puede aplicarse como un abono de base a entre un tercio y la mitad del área de una palma de aceite adulta.

#### **II.7.11.14 Efluente de la planta extractora del aceite de palma (EPEAP)**

La cantidad de EPEAP producida depende de las técnicas de extracción usadas, pero generalmente es 0.67 t EPEAP crudo t RFF procesados. En la literatura los informes sobre el contenido de nutrientes del EPEAP varían considerablemente.

Basándose en estos datos, se estima que una tonelada de EPEAP crudo contiene el equivalente de 2.0 kg de urea, 1.3 kg de fosforita, 4.0 kg de KCl y 3.0 kg de Kieserita. El efluente digerido viene en varias formas dependiendo del proceso del tratamiento y si el sobrenadante se mezcla con el sedimento del fondo'. Basándose en los valores típicos para el sobrenadante en zanja enriquecido con sedimentos, el equivalente de fertilizante (kg t<sup>1</sup> efluente) es de 0.65 de urea, 0.4 de roca fosfórica, 3.0 de KCl y 1.7 kg de Kieserita. Las pérdidas de N durante la digestión son significativas, y gran parte

del contenido de P en el efluente se deposita en el todo. Desde un punto de vista agronómico sería mejor aplicar efluente no tratado, pero esto no se aconseja debido a las preocupaciones ambientales. (Chinchilla A & Durán, 1997)

El EPEAP crudo tiene una DBO de alrededor de 25 000 mg l<sup>-1</sup> y por eso presenta un riesgo serio de contaminación si se lo permite correr o derramarse en corrientes de aguas naturales. El efluente completamente digerido que sobrenada en estanques tiene una DBO muy por debajo de 5000 mg L<sup>-1</sup> y por eso es aceptable para su aplicación en el campo. Una planta extractora que procesa 10.000 t de RFF año produce alrededor de 65 000 t de EPEAP lo que satisfaría los requerimientos nutricionales de alrededor de 100 hectáreas de palma de aceite, cuando se aplica como EPEAP digerido. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Se ha propuesto que la dosis máxima de aplicación debería basarse en el doble del requerimiento estimado de N de las palmas, pero no debería exceder de 650 kg N ha<sup>-1</sup> año (Zakaria et al., 1990). Esto equivale a alrededor de 2200 t EPEAP digerido ha. Además, se sugiere que el EPEAP debería dividirse en no menos de tres rondas por año a una tasa máxima de 25 mm de equivalente de lluvia (REq' rain equivalent) por aplicación (igual a 250 t ha') para evitar la escorrentía y cargas excesivas de nutrientes. Las tasas de aplicación muy grandes son perjudiciales al crecimiento de las palmas ya que afectan adversamente a la química del suelo y contaminan las corrientes de agua y el agua subterránea y por eso deberían evitarse. (Chinchilla A & Durán, 1997)

En particular, la carga muy alta de K y Mg puede afectar el equilibrio entre los cationes del suelo (K: Ca y Mg: Ca) en desventaja para el Ca que, además, es lixiviado del suelo más rápidamente que el K y Mg. Por otro lado, las tasas altas de aplicación pueden conducir a una absorción reducida de K (Lim y P'ng, 1991) lo que puede deberse a condiciones temporales anaeróbicas que inhiben la actividad de las raíces. En un experimento en Malasia casi todo el N y 57% del P fueron retenidos en el

residuo seco de la superficie del suelo, probablemente en una forma - orgánicamente ligada. La fracción del P orgánicamente ligada es liberada gradualmente para la absorción de la planta, pero la inmovilización del N puede causar una reducción temporal en la disponibilidad de N para las palmas. Varias aplicaciones de cantidades pequeñas del EPEAP durante el periodo de un año son preferidas a una sola aplicación grande seguida por un periodo prolongado de reposo. (Chinchilla A & Durán, 1997)

#### **II.7.11.15 Técnicas de aplicación del EPEAP en el terreno**

En él Se han ideado varios sistemas de aplicación, que pueden resumirse en cuatro grupos. Un análisis de los costos de estos diferentes sistemas muestra que el sistema del tractor tanquero tiene los costos más bajos de capital y operación (May Hassan, 1991). Este sistema también es el más flexible de operar, ya que los tractores no están limitados a un área fija de aplicación. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Se han publicado aumentos de rendimiento de 12 29% en donde se ha aplicado el EPEAP en plantaciones de palma de aceite en Malasia (Gurmit Singh, 1994). Algo del aumento de rendimiento, probablemente se debe al 'efecto de riego' del EPEAP. (Lim y P'ng 1991) estimaron que la tasa óptima para el EPEAP tratado es de 45 mm REq, lo que da un ahorro neto de USD 120 ha<sup>-1</sup> año (Lim 1988) concluye que 100 mm REQ es la tasa óptima para el sobrenadante del efluente en zanja para suelos de tierra adentro, mientras (Dolmat et al. 1988) recomiendan tasas de 33 y 66 mm REQ para el EPEAP crudo y digerido en el tanque, respectivamente. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Los efectos positivos de la aplicación del EPEAP incluyen aumentos en el pH del suelo, en la retención de agua, en la capacidad de intercambio de cationes (CIC) y en los nutrientes del suelo (K, Mg y Ca intercambiables y P disponible). El rendimiento se redujo a 200 mm de REq debido al estancamiento del agua que causó condiciones anaeróbicas del suelo y una reducción en la absorción del K debido a una actividad



disminuida de las raíces y una absorción relativamente más alta del Mg y Ca que entran en las plantas pasivamente impulsados por la transpiración (Lim, 1988). Evidentemente, las condiciones del suelo deben ser revisadas para verificar cualquier cambio a largo plazo. A partir de una revisión de los efectos de varias tasas de aplicación hasta 100 mm REQ de efluente tratado da una respuesta económica sin causar perjuicio a las palmas o al ambiente. No se ha informado de problemas de contaminación de agua subterránea, efectos negativos en el crecimiento de la palma o problemas de plagas y enfermedades relacionados con la aplicación del EPEAP tratado hasta la fecha. Los insectos especialmente moscos de las larvas que se alimentan en el efluente, pueden ser fastidiosos localmente, pero no presentan ningún peligro para la salud. (Chinchilla A & Durán, 1997)

#### **II.7.11.16 Otros usos del EPEAP**

Durante la digestión anaeróbica del EPEAP también se generan productos gaseosos (principalmente metano y CO<sub>2</sub>) Estos gases pueden recolectarse en digestores de tanque como biogás que puede convertirse en energía eléctrica por combustión. Así cada metro cúbico de EPEAP producido tiene el potencial para generar 50 kWh de electricidad, Pocas plantas extractoras han tomado medidas para retener el biogás producido y como resultado, la mayor parte de éste se pierde en la atmósfera. (Chinchilla A & Durán, 1997)

Los sólidos digeridos recolectados de los estanques de efluente o digestores de tanque incluyendo los sólidos removidos durante el desenlodado pueden utilizarse directamente como fertilizantes orgánicos después de que se han secado hasta alrededor un 20% de humedad. Se pueden agregar fertilizantes minerales para producir materiales con un análisis de nutrientes más elevado. El crecimiento de plántulas de palma de aceite en el vivero se mantuvo hasta por cinco meses sin fertilizante inorgánico adicional cuando 1 kg del EPEAP seco, se mezcló con el suelo de las bolsas de polietileno (Chinchilla A & Durán, 1997).

### **II.7.12.1 Uso del cuesco y de la fibra del mesocarpio**

Tanto el cuesco como la fibra del mesocarpio son valiosos para usarlos como capa protectora orgánica (mulch) de las plantitas en las bolsas de polietileno del vivero principal, y esta práctica ha llegado a ser común. Este mantillo reduce el lavado del suelo y la pérdida de fertilizante durante los riegos, disminuye el crecimiento de malezas y ayuda a retener la humedad en las bolsas de las plantitas. El excedente de cuesco se usa generalmente para el afirmado de los caminos de la hacienda, aunque el cuesco del moderno fruto Tenera no es tan durable como el cuesco más grueso de Dura en el pasado. (Contreras, Silva Ramírez, Garzón González, & Yañez Angarita, Centro de Investigacion en Palma de Aceite, 2011)

El cuesco y la fibra del mesocarpio se utilizan en la planta extractora como combustible de la caldera para generar fuerza motriz y para producir vapor para los procesos de la planta. La energía producida de la quema del cuesco y fibra habitualmente es más que suficiente para satisfacer los requerimientos de la planta y a veces se dispone de un excedente de electricidad para uso doméstico en las residencias de la hacienda para la venta en la red local de electricidad.

La ceniza de la caldera y los residuos de escorias de la combustión del cuesco y de la fibra son materiales útiles para el afirmado de los caminos. El cuesco también puede carbonizarse para producir carbón y carbón activado, aunque se utiliza muy poco en esta forma. (Torres, 1998)

Según (Yeong, 1985). El EPEAP seco, derivado del lodo del decantador o "harina de aceite de palma" contiene alrededor de 12% de proteína cruda, con niveles satisfactorios de minerales y energía. Esta harina se usa como un suplemento alimenticio para aves, cerdos y ganado vacuno

En Malasia se fabrican varios productos patentados.

El lodo del decantador convertido en compost produce un fertilizante orgánico útil. El EPEAP del decantador convertido totalmente en compost tiene una relación C: N de alrededor de 12 pero el contenido de nutrientes es relativamente pequeño y debería aumentarse mezclándolo con fertilizante mineral. Varios productos fortificados basados en el EPEAP se fabrican en Malasia (Gurmit Singh, 1994).

La torta de la almendra de palma (TAP) se produce después de comprimir las almendras para extraer su aceite y se exporta a Europa como alimento para ganado lechero. La TAP tiene un alto contenido de fibra, pero su contenido de proteína es pequeño (14-15%). Una compañía Papúa Nueva Guinea mezcla la TAP con melaza de caña de azúcar y hierbas de gramíneas picadas para producir alimento para bovinos y la TAP también se puede usar como un suplemento de alimentos de aves (Yeong, 1985). La torta de almendra de palma se ha probado en una capa protectora a fertilizante orgánico en palmas adultas en dosis de 1,8 t tus (PNGOPRA, 1996), pero aparentemente no fue provechosa (Gurmit Singh, 1994).

#### **II.7.12.2 Reciclado o eliminación de residuos**

En años recientes ha habido un interés considerable, especialmente en Malasia, en promover usos Industriales alternativos para los subproductos de la palma de aceite y residuos del cultivo. Sin embargo, la industria reconoce el valor agronómico de estos productos, y ha intentado cuantificar los beneficios. Los resultados de esta investigación han demostrado claras ventajas económicas de reciclar los nutrientes contenidos en los RD y en el EPEAP en la plantación. El desafío para los gerentes y agrónomo de la industria es definir la utilización óptima de estos recursos. Se necesita una investigación adicional para determinar las tasas de aplicación óptimas para diferentes ambientes, puesto que, sin esta información, es difícil elaborar recomendaciones precisas y sitio-específicas para la aplicación de los RD y el EPEAP en el campo. (Gurmit Singh, 1994).

Algunos investigadores, aconsejaron la explotación parcial de la biomasa de la palma de aceite. Esta presenta un compromiso razonable entre la explotación del valor agregado y la necesidad de mantener la fertilidad del suelo durante largo plazo. Los materiales producidos durante la producción del aceite de palma deberían considerarse como recursos por reciclarse para mantener la producción durante ciclos sucesivos de siembra. Está en el interés de la Industria explotar y promover la sostenibilidad y la autosuficiencia en energía del cultivo de la palma de aceite sobre otras oleaginosas. (Gurmit Singh, 1994).

### **II.7.12.3 Puntos importantes para palmicultores prácticos**

Mantillo de racimos desfrutados.

Los RD producidos son suficientes para tratar toda el área con palma joven del promedio de las haciendas con una relación entre áreas de plantas adultas y áreas con palmas jóvenes, o 10% de las palmas adultas.

El área objetivo depende de la distancia desde la planta extractora, la estructura de la edad de las palmas y las condiciones del suelo.

Los RD deberían aplicarse a las palmas jóvenes inmediatamente después del trasplante y repetirse anualmente. Aplicar una sola capa alrededor de las palmas (~250 kg palma<sup>1</sup>),

Aplicar 40-60 t ha año a las palmas adultas, pero no más de 75 t RD ha. Es importante la aplicación uniforme. Se debe evitar amontonar y dosis de aplicación excesivas. La mecanización ayuda a maximizar los beneficios económicos. Generalmente se necesitan N y P suplementarios y en algunos suelos se requiere K adicional (Fairhurst y Mutert 1997).

### **II.7.12.4 Aplicación del efluente del aceite de palma**

No se aconseja la aplicación del EPEAP crudo.

El sobrenadante en los estanques más 10% del lodo (con DBO < 5000 mg l) es adecuado para la aplicación en el campo.

La dosis de aplicación máxima es de 650 kg N ha año en un mínimo de tres aplicaciones con un máximo de 25 mm REq. Se han informado buenas respuestas, con hasta 100 mm REq de EPEAP tratado, pero dosis más altas pueden ser perjudiciales al crecimiento y rendimiento de la palma. (Fairhurst y Mutert 1997)

Para las aplicaciones en el campo, el sistema más económico es el tractor con remolque y bomba. Las tablas (plataformas) largas o planas son adecuadas para terrenos planos u ondulados. Los sistemas de aspersores y tubería incurren en costos muy altos de capital y de funcionamiento.

Generalmente no se requiere fertilizante suplementario. (Fairhurst y Mutert 1997)

#### **II.7.12.5 Preparación y uso de compost de los RD.**

Sistema de cero descargas de efluente, ahorros en fertilizantes inorgánicos.

Tasas de aplicaciones de campo, de alrededor de 6 t ha año.

El compost trabaja como un fertilizante de liberación lenta-mejor absorción de nutrientes y menores pérdidas por lixiviación comparado con los RD.

Reducción hasta 80% del volumen de los RD, por eso los costos de aplicación de campo son mucho más bajos.

Compost apropiado para uso en los viveros de palma de aceite.

El traslado de los RD al sitio de preparación del compost puede ser integrado con el sistema de transporte de los RD. (Fairhurst y Mutert 1997)

#### **II.8. Empresa Naturaceites.**

La empresa Naturaceites es referente en la producción sostenible de aceite de palma en el país con más de 30 años de estar en el mercado y con altos estándares internacionales.

Para la empresa Naturaceites, el cuidado del medio ambiente es primordial. Fue la primera empresa en vender bonos de carbono a nivel mundial en el 2007. Son

creyentes que la sostenibilidad debe ser una condición que identifique el aceite de palma en los mercados nacionales e internacionales.

Con el lema “Qué Chilero tener Valores” Naturaceites atesora la integridad, el respeto, la responsabilidad y la solidaridad. Esto les ayuda a respaldar modelos de negocio íntegro y eficiente con el fin de beneficiar a sus consumidores y clientes, las comunidades donde trabajan, productores asociados y mejorar el medio ambiente.

Naturaceites funciona en cinco ejes de acción que son:

Medio Ambiente,  
Desarrollo,  
Seguridad Alimentaria,  
Tierras,  
Derechos Humanos.

### **II.8.1 Medio Ambiente**

La empresa Naturaceites, valora los diferentes tipos de recursos naturales especialmente el agua por lo que realizan capacitaciones sobre el uso responsable del recurso hídrico. De igual forma se realizan monitoreos periódicamente el agua en las fincas, en los nacimientos y en las cuencas de los ríos para asegurar que nuestras operaciones cumplen con los parámetros de calidad de agua estipulados por la Ley.

Las plantas reutilizan el agua residual para el abono orgánico en la compostera y el fertirriego. Debido a que en el área que se encuentran llueve mucho todo el año carecen de pozos para regar. En las plantas beneficiadoras de aceite se minimiza la cantidad de agua utilizada. Además, miden la calidad del aire en las cercanías de sus

plantas y que cumplan con los parámetros estipulados por la Organización Mundial de la Salud -OMS-

La empresa posee un manejo integrado de desechos estos son 3R's: reducir reciclar y reutilizar. Para ello clasifican los desechos para obtener energía y operar plantas por medio de la Biomasa. Este subproducto renovable disminuye el uso de combustibles fósiles no renovables. Con el apoyo del Departamento de Sostenibilidad realizan charlas de concientización sobre el uso correcto de los desechos sólidos a los habitantes de las comunidades y a los niños.

La empresa también produce abonos orgánicos y se aprovecha de forma natural de los nutrientes del suelo y sus cultivos. Por medio de su Laboratorio "NaturaLab" trabajan en estrategias para manejo y control de plagas y enfermedades.

Dado los altos estándares de Naturaceites cuenta con tres certificaciones importantes con RSPO (Roundtable of Sustainable Palm Oil), FSSC22000 la cual garantiza la inocuidad de la producción de nuestro aceite en la refinería de Escuintla. Y Kosher que garantiza que nuestro aceite es 100% vegetal y que no contiene ningún derivado animal. (Naturaceites by BITS, 2020)

### **II.8.2 Desarrollo**

La empresa Naturaceites influencia a más de 140 comunidades de Guatemala y ha beneficiado a más de 130 mil personas a través de diversos proyectos comunitarios financiados y coordinados con el propósito de llevar desarrollo a cada comunidad.

Da empleo a más de 4,000 colaboradores en las distintas regiones en donde operan y cuentan con 1,419 colaboradores fijos y 2,890 temporales.

En cuanto al eje de salud se han beneficiado a 50 mil personas en 5 años y en la construcción de 5 centros de convergencia. También se le ha otorgado apoyo al Ministerio de Salud en 20 jornadas médicas. Han dado apoyo al Hospital Regional Fran Bartolomé de las Casas y con programas Mejores Familias y Proyectos Productivos para combatir la desnutrición crónica. Además, han puesto al servicio de las comunidades 2 ambulancias totalmente equipadas que brindan ayuda a 50 comunidades de la Franja Transversal del Norte y otra que da servicio a 35 comunidades de Polochic.

En la educación se han construido 37 aulas en 21 comunidades en sus 3 áreas de influencia en los últimos 5 años. Entre otros aportes han dado pasantías de crecimiento personal y profesional a pobladores. Inculcan en los niños el cuidado al medio ambiente. Dentro de los programas de inclusión la empresa ayuda al empoderamiento de 671 mujeres en 11 comunidades con programas de autoestima y superación personal.

Además, tienen un programa de mantenimiento vial de 300 kilómetros que benefician a 50 mil personas que transitan diariamente por el lugar.

### **II.8.3 Seguridad alimentaria**

Naturaceites consciente de la necesidad de fortalecer con la Seguridad Alimentaria Nutricional ha puesto en marcha programas en los municipios Raxruhá, Fray Bartolomé de las Casas y Chahal en Alta Verapaz, así como El Estor, en Izabal.

Realizan donaciones de semillas y esquejes para que los pobladores puedan producir sus propias cosechas con nuevos alimentos como cacao, yuca, cítricos o mazapán y así las familias mejoren su alimentación y puedan tener ingresos.



También cuentan con 23 viveros, 13 en Alta Verapaz y 10 en el área del Polochic, Izabal, beneficiando a más de 6,000 mujeres y niños en 38 comunidades de influencia. Todo esto ha mejorado la convivencia entre los pobladores quienes se apoyan en todos sus quehaceres.

#### **II.8.4 Tierras**

La empresa trabaja en hectáreas productivas (palmas mayores de 3 años) en donde el 52% son nuestras y el 48% pertenecen a productores asociados que cumplen con los más altos estándares de sostenibilidad en Izabal, Alta Verapaz y Petén.

Naturaceites brinda asesoría técnica con tecnología de punta para garantizar la comercialización de sus frutos a un precio competitivo. La calidad del aceite de palma hace que se venda en mercados como El Salvador, México, Cuba, Puerto Rico y Europa.

#### **II.8.5 Derechos Humanos**

Como empresa responsable Naturaceites brinda a sus trabajadores todas las prestaciones de ley y un salario por encima del salario mínimo con pago de Seguridad Social, bonificaciones, horas extras y reconocimiento de días de asueto. La empresa categóricamente no contrata a menores de edad. (Martínez, 2017)

Consciente de que sus colaboradores son valiosos la empresa da más beneficios a sus trabajadores como la asociación solidarista, programas de educación, capacitaciones para la conservación del medio ambiente y seguridad ambiental, clínicas médicas, y áreas recreativas y deportivas. (Martínez, 2017)

Naturaceites deja claro que todos sus programas de Responsabilidad Social Empresarial son alineados con todos los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. Esto es lo que hace Naturaceites una empresa que disfruta en ayudar a Guatemala.

### **II.9 Efluente de una planta extractora de aceite de palma: lodos de palma.**

El efluente de una planta extractora es la descarga final, después de la extracción del aceite de los racimos de fruta fresca y que contiene partículas de los suelos, aceites residuales y sólidos en suspensión, pero únicamente 5% de materia seca. Mientras Wamberck (1990) menciona que el efluente representa el 0,5 ton/ton de RFF y que puede causar serios problemas a todo el ecosistema circunvecino, Brezing (1986) fue más adelante y dice que una planta de extracción de 10 Ton RFF requiere una planta de tratamiento de efluentes comparable a la de una población de medio millón de habitantes. (Wamberck, 2005)

### **II.10 Tratamiento de Efluentes en Plantas Extractoras de Aceite.**

Desde que se construyeron las plantas mecánicas extractoras de aceite, el descarte de las aguas residuales ha constituido un problema para la administración de las plantas. Las normas sobre vertimiento de residuos líquidos, estipuladas en el decreto ley 1594, exigen remover de las aguas residuales un porcentaje mayor o igual al 80% de sólidos suspendidos (SS) y materia orgánica, y son mucho más exigentes en cuanto a la presencia de grasas y aceites. (Fuentes, 1994)

#### **II.10.1 Caracterización de las aguas residuales**

Del conocimiento que se tenga de la cantidad y composición de las aguas residuales, complementando con estudios experimentales a nivel laboratorio y planta piloto, depende del éxito en el manejo y tratamiento de este tipo de vertimiento. (Fuentes, 1994)

Como efluente de una planta extractora de aceite se consideran las aguas resultantes, en orden de Volumen, de los siguientes procesos:

Aguas lodosas de los clarificadores.

Aguas de esterilización.

Aguas de Palmisteria.

Aguas de Limpieza de pisos y purgas.

Un análisis conjunto del problema de vertimientos en todas las plantas extractoras lleva concluir que las soluciones son más o menos las mismas, teniendo en cuenta que los procesos, las materias primas y los residuos líquidos tienen las mismas características, y fundamentalmente, varían en términos de carga aportada, debido al mayor o menor consumo de agua y al nivel tecnológico de los equipos y procedimientos de extracción. (Fuentes, 1994)

### **II.10.2 Alternativas de tratamiento**

Con base a las características de las aguas residuales, los ensayos de neutralización, de remoción aeróbica de la materia orgánica y de biodegradabilidad anaeróbica, conjugados con las características particulares de los procesos de extracción en cada planta y la implementación de estructuras adecuadas para el control de pérdidas de aceite, se puede entrar a escoger el tren de operaciones unitarias y procesos para el tratamiento de las aguas residuales. (Fuentes, 1994)

Sin duda, los procesos biológicos son la mejor alternativa, siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones básicas:

Neutralización del desecho.

Condiciones óptimas de temperatura (30-35°C).

Precipitación y digestión de los sólidos orgánicos.

Preparación y desarrollo de un cultivo biológico aclimatado.

Balance nutricional adecuado (adición de nitrógeno y fosforo). (Fuentes, 1994)

Todo lo anterior debe estar soportado en una estrategia de recuperación el mayor porcentaje posible de aceite, antes de la aplicación de los procesos biológicos.

Bajo las condiciones antes enumeradas, las alternativas factibles para el tratamiento de las aguas residuales son las siguientes:

**II.10.3 Biodigestores:** Conveniente para aprovechar el biogás que puede utilizarse como combustible. El caudal de aguas residuales debe justificarse la inversión de capital de tales instalaciones. Experiencias de sistemas instalados indican que la inversión es práctica para plantas con capacidad de procesos mayores a 50 t RFF/hr o más. Además, al justificarlas es esencial tener en cuenta el uso que se le va a dar al gas. (Fuentes, 1994)

**II.10.4 Lodos Activados de alta carga:** Existe una relación directa entre potencia consumida y la carga aplicada, lo cual indica que, aunque requiere poca área, hay un alto consumo de potencia instalada en relación directa con la capacidad de la planta. (Fuentes, 1994)

**II.10.5 Sistemas de Lagunas de Estabilización:** Teniendo en cuenta que la disponibilidad de área no es una restricción en la mayoría de los casos, puede resultar la mejor alternativa para el país. La experiencia de países con mayor trayectoria para el tratamiento de estos efluentes muestra resultados favorables para el cumplimiento de las normas sobre vertimientos. Experiencias nacionales con proyectos correctamente diseñados, construidos y operados, igualmente lo demuestran. (Fuentes, 1994)

En la concepción del proyecto pueden existir diferentes combinaciones:

Laguna anaerobia-facultativa.

Laguna anaerobia-laguna aireada.

Laguna anaerobia-facultativa aireada. (Fuentes, 1994)

El problema que representa el descarte de las aguas residuales en las plantas extractoras de aceite puede manejarse adecuadamente para minimizar el impacto ambiental, en especial sobre el recurso de agua, siempre y cuando se tengan en cuenta consideraciones de tipo operativo dentro de la planta y una correcta selección de alternativa de tratamiento de los efluentes. (Fuentes, 1994)

Para todas las plantas se pueden generalizar las siguientes recomendaciones:

Manejo adecuado de los programas de recuperación de aceite y grasas (mejorando los procesos de extracción, las estructuras de recuperación, por ejemplo, florentinos, y el manejo separado de aguas en proceso y de aguas de lluvias). (Fuentes, 1994)

Optimización del consumo de agua, minimizando la relación tonelada de fruto Vrs agua de proceso, evitando los desperdicios y los excesos en limpieza de pisos y de equipos. (Fuentes, 1994)

Neutralización del desecho, lo cual facilita la precipitación de los sólidos suspendidos y su posterior estabilización o degradación, además, disminuye la carga orgánica a los sistemas subsiguientes y crea condiciones favorables (pH neutro) para el trabajo de los microorganismos. (Fuentes, 1994)

Tratamiento biológico mediante un sistema combinado de lagunas anaerobias y facultativas. Este sistema dual se concibe como una interacción entre el diseño hidráulico y del proceso. Deben existir, además, condiciones favorables de PH, nutrientes y población activa perfectamente aclimatada al desecho. Para el éxito en el tratamiento se requiere de un manejo prudencial y secuencial durante la etapa de arranque y hasta la estabilización del proceso. (Fuentes, 1994)

Manejo adecuado de los lodos digeridos y extracción periódica de los mismos para evitar la colmatación del sistema, prolongar su vida útil y minimizar los costos de operación y mantenimiento. (Fuentes, 1994)

## **II.11. Procesos y sistemas de una planta de extracción de aceite de palma.**

### **II.11.1 La palma de aceite**

Prácticamente todas las palmas de aceites plantadas en el lejano oriente están directamente relacionadas entre sí, porque dos o cuatro palmas de aceite fueron traídas del África y plantadas en los jardines botánicos Buitenzorg en Java en 1848. El material engendrado de estas palmas se refiere al *Dura deli*. Éste es muy estable y uniforme en cuanto a su contenido en aceite y almendra. (Noel, 2005)

La composición promedio de un racimo de fruta fresca (RFF) es de 25% aceite, 5,5% almendra, 6% cáscara, 9% fibra, 25% racimo vacío (Rv) y el resto es humedad.

La calidad tanto del aceite de palma como de las almendras se encuentra en su punto máximo justo antes del momento de la cosecha del racimo, de su recolección y de la extracción. La extensión en la que el aceite es degradado depende de los sistemas utilizados y del cuidado con el cual éstos son ejecutados. (Noel, 2005)

### **II.11.2 Cosecha**

La cosecha se hace normalmente en ciclos de 6 a 8 días. Es muy importante que el fruto no sea cosechado antes de su madurez, donde el proceso de fotosíntesis está bien avanzado, para convertir los carbohidratos en grasa. (Noel, 2005)

El contenido de aceite del mesocarpio inmaduro puede estar en el orden del 35% mientras que el contenido de aceite de un mesocarpio maduro está entre el 50 y el 55%. (Noel, 2005)

La cosecha de la fruta baja de madurez puede causar una pérdida del 8% de su rendimiento. (Noel, 2005)

### **II.11.3 Recolección y transporte de la fruta**

Existen dos tipos de sistemas básicos para el transporte de la fruta.

El sistema de transferencia es menos costoso, pero acarrea la pérdida de ciertas cantidades de aceite y un aumento en el contenido de AGL debido a la manipulación extra y el daño que sufre la fruta. El otro sistema requiere que las vagonetas de esterilización sean llevadas al campo para que sean cargadas directamente en los puntos de recolección. (Noel, 2005)

En estos puntos el cosechador coloca la fruta en mallas que son levantadas por una grúa para cargarlas suavemente en las vagonetas de esterilización. (Noel, 2005)

Al momento en que la fruta es levantada en las mallas es conveniente pesarla, utilizando una celda de pesaje. Esto es particularmente importante para la recolección de cosechas en pequeños cultivos. (Noel, 2005)

#### **II.11.4 Recepción de RFF**

Los camiones, vagonetas o remolques cargados con RFF son pesados a la entrada de la fábrica y a la salida cuando están vacíos, en una báscula de 50 o más toneladas de capacidad y esta información es automáticamente grabada con un sistema computarizado. (Noel, 2005)

Después del proceso de pesado del camión, vagoneta o remolque, los racimos RFF son vaciados en una tolva inclinada en una rampa que puede contener 900 Tm de RFF (2 líneas de 15 bahías x 30 Tm de RFF). (Noel, 2005)

Las fábricas modernas en Malasia están equipadas con los siguientes equipos, en el área de recepción de la planta:

Puente báscula de celdas de carga (sin foso) de 50 toneladas, de 3,3 m de ancho x 15 o más metros de longitud, computarizado.

Rampa de amplia capacidad con tolvas de doble puerta de 30 TM de capacidad por bahía. (Noel, 2005)

Vagonetas y chasis para RFF con capacidades de 5, 7 y 10 TM, sobre ruedas en carrileras de 800 mm de trocha.

Sistema de transportadores para cargue de las vagonetas con los RFF.

Sistema de rieles de líneas con plataforma de transferencia de vagonetas, ubicados en ambos extremos del sistema de carrilera, para una fácil operación de los esterilizadores de doble puerta. Así, el desplazamiento de las vagonetas puede manipularse fácilmente con cabrestantes y poleas de reenvío. (Noel, 2005)

### **II.11.5 Esterilización**

Este proceso se efectúa en vagonetas de 5, 7 y 10 toneladas de capacidad, para introducir los RFF en un recipiente cilíndrico de acero con puertas especiales, donde son sometidos al vapor aproximadamente a 3 Bar.

Uno de los efectos de la esterilización es inactivar las enzimas de los frutos. Una vez que estas enzimas han sido desactivadas, el incremento de AGL es virtualmente detenido. (Noel, 2005)

El objetivo después de la cosecha es esterilizar la fruta lo más rápido posible, con un mínimo grado de manipulación y daño. (Noel, 2005)

Adicionalmente a la detención del desarrollo de contenido de AGL, la esterilización de la fruta también facilita:

La purificación del aceite de palma por coagulación de la materia nitrogenosa y mucilaginosa, para así prevenir la formación de emulsiones durante la recuperación del aceite crudo.

La extracción del aceite de palma crudo por ablandamiento y liberación de los frutos de los racimos y mediante el rompimiento de las células de aceite en el mesocarpio.

La mayoría de las fábricas, hoy, tienen sistemas de control programados automáticamente para realizar la adecuada esterilización en ciclos de 90 minutos.



La esterilización es un proceso simple, pero es esencial para la adecuada operación de la fábrica. Por eso es importante que este se haga correctamente. Esta operación implica la mayor utilización de vapor en la planta. (Noel, 2005)

#### **II.11.6 Desfrutación**

El fruto, ya esterilizado en las vagonetas, es retirado del esterilizador mediante el sistema de cabrestantes y poleas de reenvío, y colocado así en posición para que la grúa, manejada por control remoto, realice la labor de vaciado de la fruta en el desfrutador que separa la fruta de los racimos vacíos. (Noel, 2005)

Para generar una capacidad más grande, vagonetas de 5 TM RFF o mayores son trasladadas a un tambor de volteo para vaciar su contenido en un transportador de cadena y conducirlo al desfrutador.

El fruto es luego conducido por transportadores de tornillo y elevadores de cangilones a la sección de Prensado o Extracción.

Las nuevas plantas incluyen en su diseño un destrozador de racimos y un desfrutador secundario para la recuperación de los frutos de mayor tamaño o cuya esterilización ha sido pobre, los cuales son difíciles de desfrutar. (Noel, 2005)

#### **II.11.7 Racimos vacíos**

Los racimos vacíos representan el 25% de la totalidad del peso del RFF. En las fábricas convencionales, estos son regresados al campo para ser utilizados como fertilizante, después de ser incinerados para recuperar la "potasa" resultante. (Noel, 2005)

Los racimos vacíos no tienen ningún valor alimenticio y tienen un alto contenido de sílice. Cuando son adecuadamente incinerados rinden entre 0,3 y 0,5 % de "potasa" (ceniza potásica).

La utilización de los racimos vacíos para aplicación en el campo como suplemento de fertilización es efectiva en cuanto a costos para algunos grupos de plantaciones, pero no

tiene justificación por razones de logística, para otras plantaciones. Otros impedimentos o la experiencia práctica parecen ser la objeción para el uso de los en el campo. (Noel, 2005)

En años recientes, un nuevo sistema ha sido introducido en Malasia para el tratamiento de RV que recupera un 0,25% extra del aceite de los de los racimos vacíos y, al mismo tiempo reduce el contenido de humedad aproximadamente en un 35%. De esta manera, pueden ser; utilizados como combustible residual sólido adicional para la generación de vapor y electricidad en otros procesos posteriores a la extracción. (Noel, 2005)

### **II.11.8 Extracción del aceite**

La extracción eficiente del aceite crudo de la fruta *Tenera* presentó algunos problemas en el pasado, pero estos han sido superados con el desarrollo de las prensas continuas de tornillos las cuales son usadas en las plantas modernas. La fruta, desde el desfrutador, pasa 'os digestores que completan el rompimiento de las celdas de aceite con brazos que se malos lentamente. Los digestores pueden tener una capacidad superior a 3 m<sup>3</sup>. (Noel, 2005)

La masa de frutos pasa luego a la prensa de tornillos (capacidad de 10 a 16 T'M de RFF por hora) que presiona el aceite crudo a través de agujeros en la pared de la cesta o camisa de la prensa. La torta prensada, que es descargada por el extremo de la prensa, contiene la fibra y las nueces. (Noel, 2005)

Los tres productos separados en esta sección son:

El aceite crudo que está conformado por agua, lodo y aceite. Este pasa a la sección de clarificación.

Nueces: 15 % de los RFF. Son separadas por el desfibrador y en la sección de almendras para la recuperación de las almendras.

Fibras: aproximadamente el 15% del peso de los RFF, con un contenido de humedad del 37%. El contenido de aceite residual se encuentra entre 6 y 8% de aceite sobre fibra seca. (Noel, 2005)

La fibra debería retener tanto como sea posible los fosfátidos y otras impurezas no glicéridas. La fibra separada en el sistema desfibrador es transportada a la caldera como combustible. (Noel, 2005)

El diseño adecuado de la sección de extracción es importante. Prácticas poco satisfactorias como el excesivo drenaje del aceite crudo antes de la extracción por la prensa, trae consigo no solamente problemas en la clarificación y mayores pérdidas sino también la absorción de hierro por parte del aceite de palma. (Noel, 2005)

La importancia de reducir la absorción de metales pesados como cobre y hierro es indicada por el valor *to tox*. Para la producción de aceite de alta calidad, se debería usar acero inoxidable en partes móviles, donde haya desgaste en equipos de extracción tales como el digestor y la prensa. (Noel, 2005)

### **II.11.9 Recuperación de la almendra**

El acondicionamiento de las nueces comienza en el esterilizador y la separación, en la prensa de tornillos. Después del proceso de prensado, las nueces y la fibra van por un transportador rompedor de torta calentado que posteriormente separa y remueve la humedad de la fibra. (Noel, 2005)

La fibra y las nueces pasan luego a una columna separadora neumática llamada también columna desfibradora (*Winnowing System*, en inglés) provista con una pantalla o *dárnper* para realizar ajustes en la operación, dependiendo del número de prensas que trabajen. (Noel, 2005)

La fibra es soplada hacia un ciclón cercano a la caldera y las nueces pasan hacia abajo a un tambor pulidor para remover las impurezas o fibras adheridas y retener piezas de

hierro. Este tambor está diseñado para procesar gran variedad de almendras. (Noel, 2005)

Las nueces son acondicionadas en silos de secado antes de ser trituradas en rompedores centrífugos o, actualmente, en molinos del tipo *ripple*. Después de la ruptura, la mezcla triturada es separada en una columna doble de separación para una separación en seco y/o mediante separadores del tipo húmedo como los hidrociclones o baños de arcilla. Estos últimos son del tipo húmedo. Un separador moderno del tipo *hydroclay bath* es más eficiente que un separador de hidrociclones cuando se procesa más de un 15% de material *Dura* en la mezcla triturada. Un suministro adecuado de arcilla a razón de aproximadamente 450 Kg por 100 toneladas de RFF es necesario para el sistema separador de arcilla. Ambos sistemas dependen de la densidad de la cáscara, siendo esta mayor que la densidad de la almendra. (Noel, 2005)

El alto rendimiento de la almendra compensa el costo adicional de arcilla o caolín para el proceso con el separador *hydro clay*.

Las cáscaras y las almendras son lavadas. Luego las almendras pasan a un silo secador de almendras para reducir el contenido de humedad a un 7% y minimizar así el desarrollo de AGL durante el almacenamiento y despacho. Es ventajoso esterilizar las almendras antes del despacho o almacenamiento con vapor a la presión atmosférica. (Noel, 2005)

Las plantas de almendra, diseñadas para las nueces derivadas de la variedad *Dura*, no son convenientes para el proceso de nueces derivadas de la variedad *Tenera*. Ha habido numerosos diseños experimentales, pero han mostrado fallas. Se requiere gran precaución y una amplia experiencia en la selección y diseño de los equipos adecuados para una planta de recuperación de almendras. (Noel, 2005)

#### **II.11.10 Clarificación del aceite de palma**

La sección moderna de clarificación o purificación del aceite de palma se diseña para recuperar y purificar el aceite crudo tan rápido como sea posible con el mínimo de calentamiento y exposición al aire. Esto es necesario para evitar el daño por oxidación que es causado por la exposición del aceite crudo al aire y a temperaturas altas. (Noel, 2005)

El proceso comienza en el tanque de aceite crudo en la sección de extracción y termina en un enfriador de aceite como APC (aceite terminado crudo de palma), con un contenido de impurezas de 0,009% y un contenido de humedad de 0,09%.

El mayor problema de efluentes es reducido con el sistema de *decanter*, el cual remueve los lodos semisólidos para tratarlos con un secador de sólidos, el cual reduce su humedad de 45 a 10%. Un adecuado secamiento de los lodos se obtiene mediante los gases salientes de la caldera. La composición de los lodos obtenidos por *decanter* y secador se muestra en el Apéndice. (Noel, 2005)

La oxidación es la causa más importante de una pobre calidad del aceite. La oxidación medida por el valor *totox*, comienza cuando el aceite se encuentra por encima de los 60 °C y es expuesto al aire, durante el proceso, almacenamiento y despacho. (Noel, 2005)

#### **II.11.11 Generación de vapor y de potencia**

La utilización de los recursos existentes de energía es indispensable, no solamente para las grandes instalaciones industriales sino también para las plantas de pequeña producción y en particular para las plantas de extracción de aceite de palma, donde un balance entre el calor y la potencia son requeridos para los procesos de producción. Lo anterior es una condición previa para un "esquema combinado de calor y potencia (cm)", o lo que comúnmente se refiere como sistema de cogeneración. (Noel, 2005)

Los desechos sólidos que se utilizan como combustible son las cáscaras, fibras y racimos vacíos. Todos son subproductos del proceso y sirven para producir el vapor en las calderas. (Noel, 2005)

El vapor se requiere para el proceso a razón de 500 Kg/TM de RFF. Este vapor puede ser producido fácilmente en una caldera razonablemente eficiente a partir de la combustión de las fibras, cáscaras y racimos vacíos. (Noel, 2005)

La energía eléctrica se requiere para el proceso a razón de 15 a 25 Kw/Tm de RFF. Esta puede ser provista fácilmente mediante una turbina de vapor del tipo de contrapresión de una sola etapa, ubicada entre la caldera y el distribuidor de vapor a baja presión hacia el proceso. (Noel, 2005)

El vapor se genera en la caldera a una presión de por ejemplo 20 bar (recalentado a 260 °C) y con un turbogenerador de vapor de 18,5 bar en la entrada y 3,16 bar en la contrapresión, siendo esta una presión conveniente para el proceso gracias a sus efectos de calentamiento. (Noel, 2005)

La generación de energía eléctrica adicional con este sistema es posible por la combustión de los racimos vacíos, tal como se muestra en el balance adjunto Combustible/Vapor/Potencia, a partir de 1 TM de combustible de desecho sólido en una planta de extracción de aceite de palma. (Noel, 2005)

Se ha introducido un sistema para el tratamiento y disposición de los racimos vacíos de la palma y la recuperación del aceite, al mismo tiempo que se reduce el contenido de humedad de los racimos vacíos aproximadamente a 45%, de manera que estos puedan ser utilizados como combustible sólido en la caldera para la producción adicional de vapor y de energía eléctrica. (Noel, 2005)

El vapor se produce en calderas acuotubulares a presiones y temperaturas más altas (20 bar, 207 °C) de lo requerido para el proceso. Primero, este es expandido en las turbinas de vapor y luego conducido al proceso en donde el calor latente contenido en el vapor de escape (3,16 bar) es utilizado para la esterilización de los RFF y para los sistemas de calentamiento en el proceso. (Noel, 2005)

Hay una relación directa entre el número de palmas cultivadas y el correspondiente rendimiento de cosecha de un área de plantación dada que se procesa en la planta, y la energía primaria disponible en los subproductos combustibles y los requerimientos de potencia y de calor de la planta. (Noel, 2005)

Un diseño adecuado de una planta de aceite de palma no solamente proveerá suficiente vapor y potencia eléctrica para sus requerimientos de operación, sino que también puede suministrar un porcentaje adicional de 17 a 33% de potencia extra para otros procesos integrados posteriores, uso doméstico o para ser vendida a otros consumidores de energía. (Noel, 2005)

#### **II.11.12 Fuentes de residuos sólidos, efluentes y contaminación**

El volumen de la descarga de efluentes de las plantas de aceite de palma depende de la amplitud en el diseño de los sistemas de proceso, el control de los procesos en planta, el mantenimiento de los equipos y, el cuidado y limpieza de la planta. (Noel, 2005)

Los desechos sólidos o subproductos de los procesos de la planta de aceite son básicamente:

Racimos vacíos

Cáscaras y fibras

Sólidos del *decanter*

Sólidos de la centrífuga de lodos

Cenizas de la caldera

Lodos de las piscinas (Noel, 2005)

Los desechos sólidos tales como los racimos vacíos tratados (deshumidificados), por aproximadamente el 25% de los RFF; y los lodos secos recuperados, por aproximadamente 3% de los RFF, son subproductos que pueden ser utilizados en la plantación y vendidos a los productores. Las cáscaras y fibras son fuentes de combustible de desecho sólido para la cogeneración en la planta de aceite. (Noel, 2005)

Las aguas de desechos de los condensados de esterilización, el efluente de la clarificación y las descargas de los hidrociclones y del baño de arcilla son suficientemente contaminadas y por tanto requieren tratamiento. Algunas de las fuentes de las aguas de desecho descargadas como el sistema de condensación y de enfriamiento de las turbinas de vapor y las purgas de las calderas son relativamente limpias y pueden ser utilizadas en procesos como el sistema de dilución, prensa de tornillos, lavado del canal de aceite y para los requerimientos de limpieza de los pisos de la fábrica. (Noel, 2005)

La cantidad total de efluentes líquidos es de 0,6 a 1 TM/TONELADA RFF, y es generada por las siguientes fuentes:

Condensados de esterilización

Sección de clarificación

Hidrociclón/Baño de arcilla

Otras aguas de desecho. (Noel, 2005)

Los efluentes líquidos totales se pueden incrementar si se incluyen las aguas de lavado de la planta de proceso. Los efluentes no son tóxicos, pero tienen una demanda bioquímica de oxígeno mayor a 25.000 ppm (DBO), lo cual los hace inaceptables para la vida de los peces cuando se introducen en cantidades grandes en los canales y ríos. (Noel, 2005)



Debido a lo anterior, el objetivo de este proceso es tratar las descargas de efluentes de la planta de aceite de palma de manera que se cumpla con las condiciones impuestas por el Departamento del Ambiente (DOE) para vertimientos, El sistema de tratamiento de efluentes por lagunas o "piscinas de oxidación" es adoptado comúnmente en Malasia. El sistema de proceso anaeróbico y aeróbico en general está conforme con las regulaciones y requiere un área de lagunas para un tiempo de retención de 65 a 75 días, con un monitoreo adecuado del costo de la electricidad para las bombas de circulación y aireadores para el retiro de los lodos de las lagunas. Sin embargo, las lagunas o "piscinas de oxidación" a veces se vuelven inestables como consecuencia de la reducción del volumen, debido a la colmatación con lodos, las condiciones ambientales o por la contaminación. (Noel, 2005)

Muchos sistemas se han probado, pero no ha surgido aún alguno con aceptación general. Los sistemas ensayados incluyen centrifugas, filtros, secado en lechos solares, flotación y, coagulación con aire y plantas de extensa aireación mecánica. Algunos sistemas piloto incluyen unidades de producción de metano. El "sistema libre de efluentes" es posible gracias a unidades multi-etapa de condensación y a una planta de oxidación térmica que produce lodo seco en un producto final denominado "POME" (del inglés *Palm Oil Mill Effluent*), que se vende como fertilizante y relleno para alimentos de animales. (Noel, 2005)

### **III. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Se presenta a continuación los cuadros y graficas obtenidas del trabajo de campo realizado por el investigador, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

Los cuadros y gráficas, presentados de las páginas numero 91 a la página número 93 se refiere a la comprobación de la variable dependiente -Y- o efecto.

Y de los cuadros y graficas de la página número 94, a la página 97 se refiere a la comprobación de la variable independiente X (causa);

Para evidenciar la hipótesis, del tema de investigación denominado: propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal; se debe a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal; por lo que se llevó a cabo la investigación con el objetivo de evidenciar la variable dependiente e independiente, utilizando cuestionarios estructurados para ambas variables (Y, X)

### III.1 Presentación de cuadros y gráficas para la comprobación del efecto (variable dependiente o y).

#### Cuadro 4

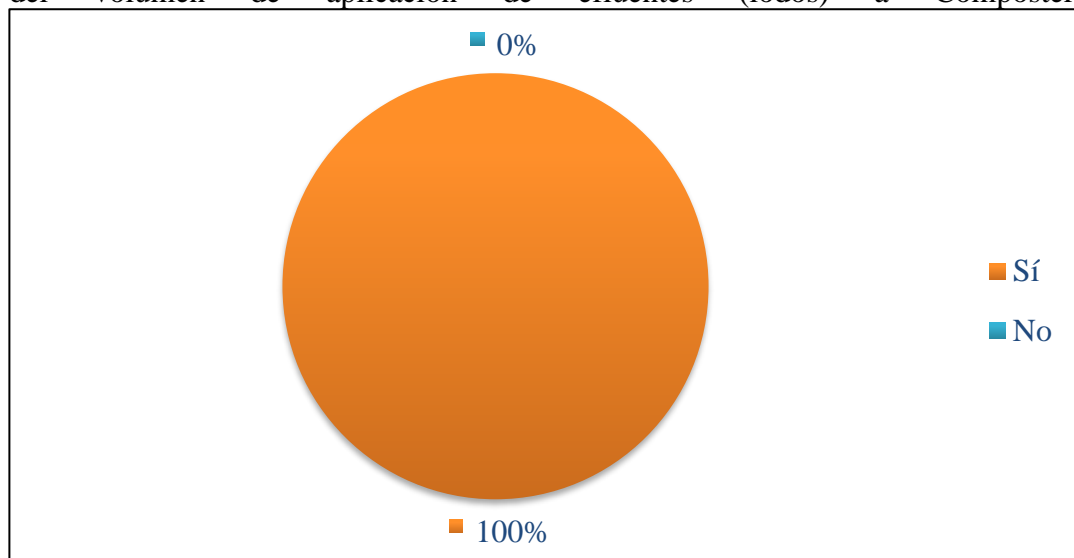
Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta indican sobre la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Sí	2	100%
No	0	0%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

#### Gráfica 1

Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta indican sobre la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a Compostera.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** De acuerdo con los datos proporcionados por el coordinador y gerente, se determina que, para el área de compostera, no es favorable tener retrasos en la aplicación de efluentes, debido a que se origina la disminución del volumen de aplicación a compostera. Por lo que se comprueba la variable dependiente o efecto general.

### Cuadro 5

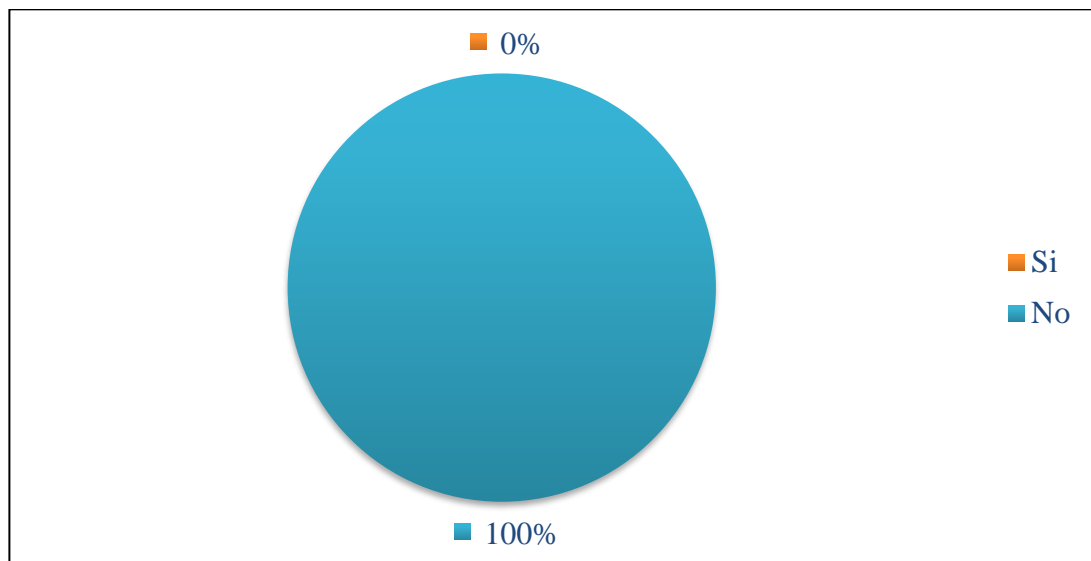
Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta Niegan que han disminuido los niveles de nutrientes en el compost.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	0	0%
No	2	100%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

### Gráfica 2

Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta Niegan que han disminuido los niveles de nutrientes en el compost.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** gracias a la entrevista, se logró determinar que los niveles nutricionales en el compost no han disminuido debido al bajo volumen de aplicación de efluentes (lodos) hacia compostera, sim embargo si no se implementa un plan de mantenimiento en los próximos años los m<sup>3</sup> aplicados no serían suficientes para cumplir con la recomendación de riego a cada cama de compost lo cual provocaría que los niveles nutricionales disminuyan.

### Cuadro 6

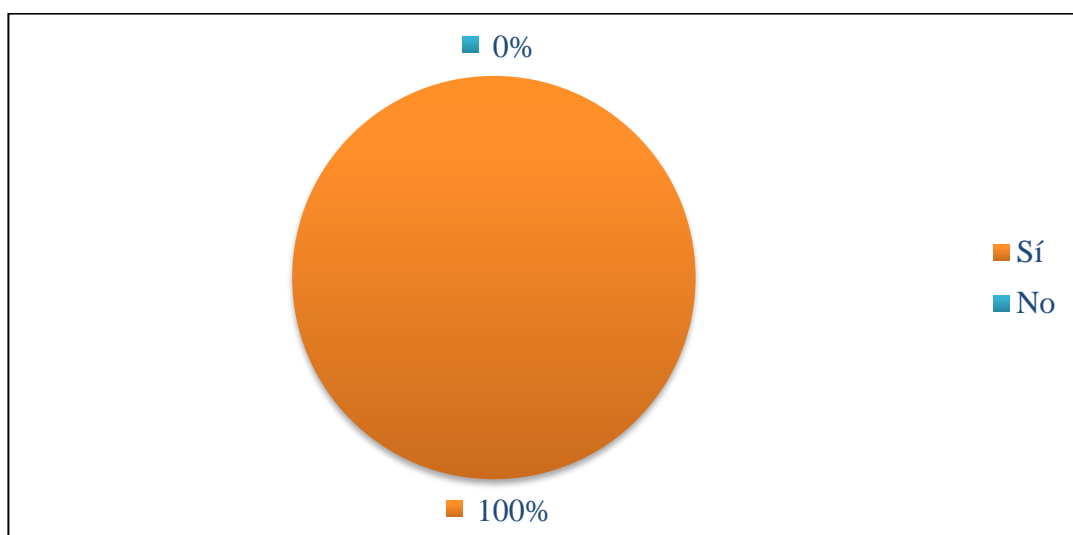
Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta afirman el aumento de las temperaturas de compost en alguna época del año.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Sí	2	100%
No	0	0%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

### Gráfica 3

Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta afirman el aumento de las temperaturas de compost en alguna época del año.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a Coordinador de Compostera y gerente Regional de sta de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** De acuerdo con los datos adquiridos, se determina que las temperaturas en el compost han aumentado en alguna época del año debido a la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, Por lo que se comprueba la variable dependiente o efecto general.

### III.2. Presentación y análisis de resultados para la comprobación de la causa principal (variable independiente o x).

**Cuadro 7**

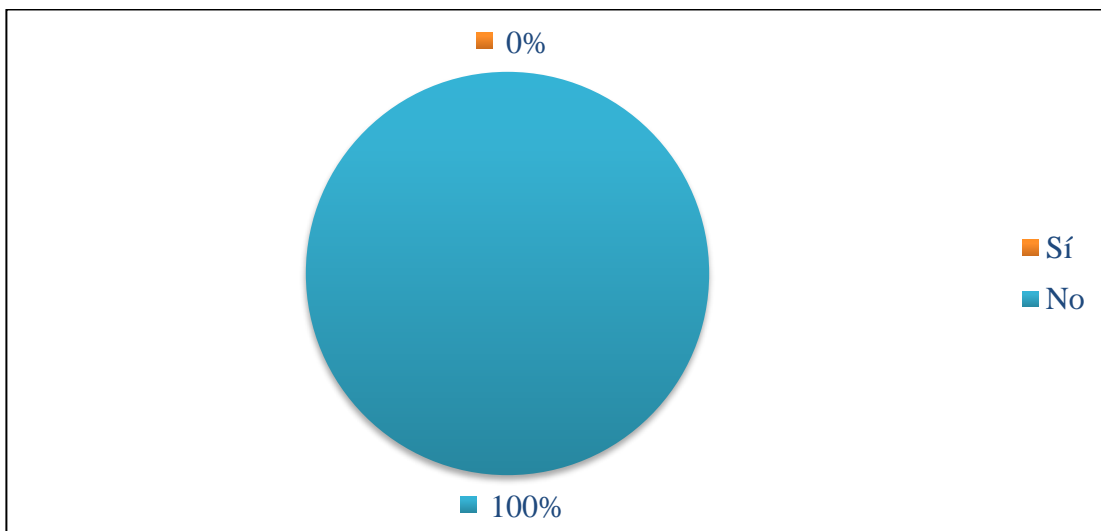
Jefe y supervisor de mantenimiento industrial indican la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de los subproductos (Efluente y Raquis) en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Sí	0	0%
No	2	100%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Gráfica 4**

Jefe y supervisor de mantenimiento industrial indican la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de los subproductos (Efluente y Raquis) en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** Con respecto a los datos obtenidos se comprueba que no se cuenta con un plan de mantenimiento en los equipos industriales del área del manejo de los subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, por lo que se comprueba la variable independiente de la hipótesis planteada.

### Cuadro 8

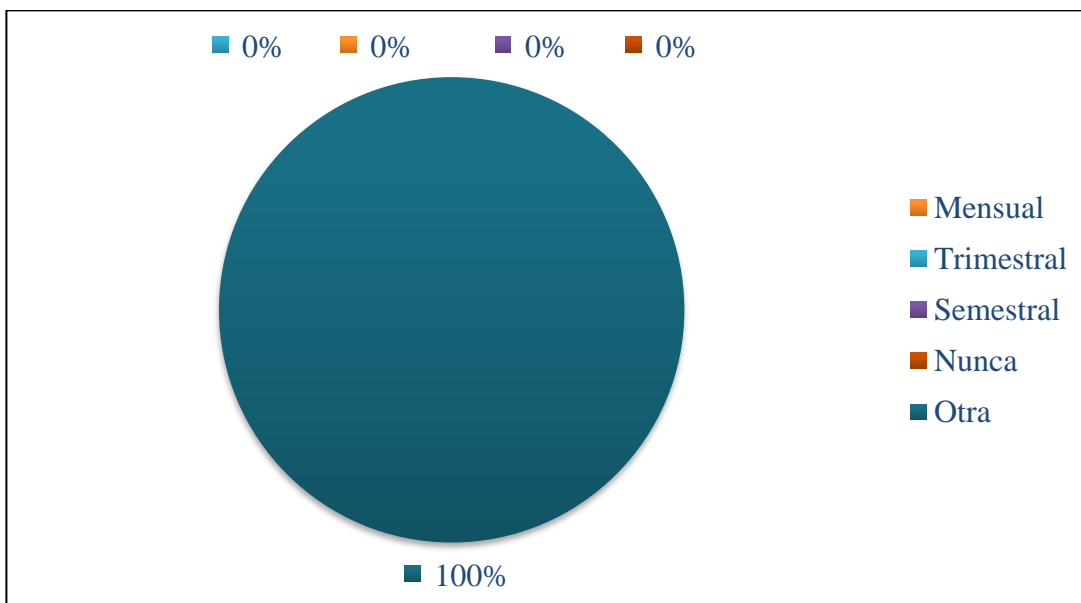
El personal de mantenimiento realiza inspecciones a los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Mensual	0	0%
Trimestral	0	0%
Semestral	0	0%
Nunca	0	0%
Otra	2	100%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

### Gráfica 5

El personal de mantenimiento realiza inspecciones a los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** Con la entrevista realizada se concluye que no se realiza un mantenimiento preventivo al equipo industrial sino hasta el momento en que falla.

### Cuadro 9

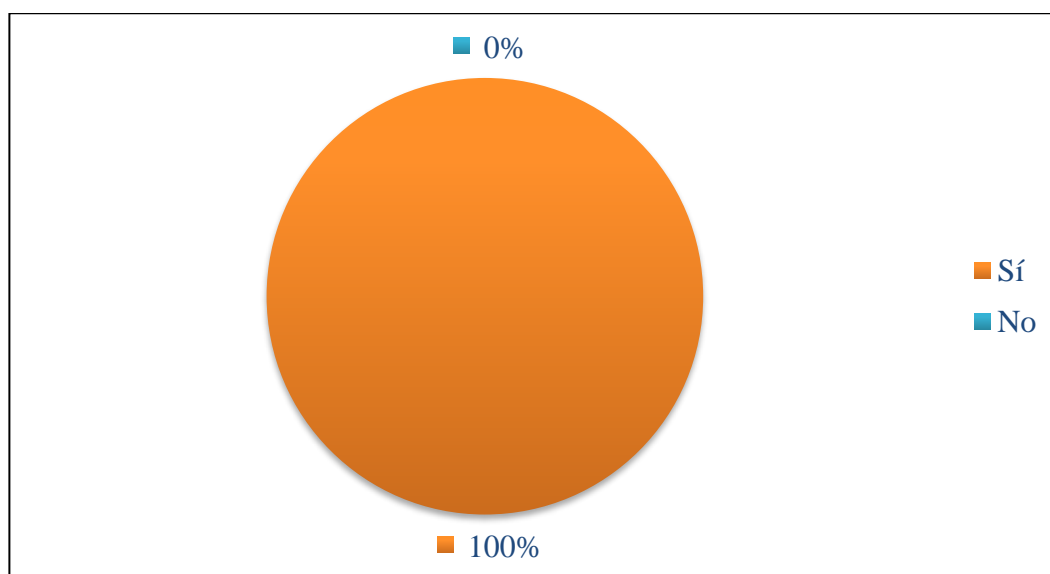
Personal capacitado para poder realizar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Sí	2	100%
No	0	0%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

### Gráfica 6

Personal capacitado para poder realizar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** El personal de mantenimiento, cuenta con capacitaciones específicas para poder realizar correctamente el mantenimiento preventivo en los equipos industriales del área del manejo de los subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites.



**Cuadro 10**

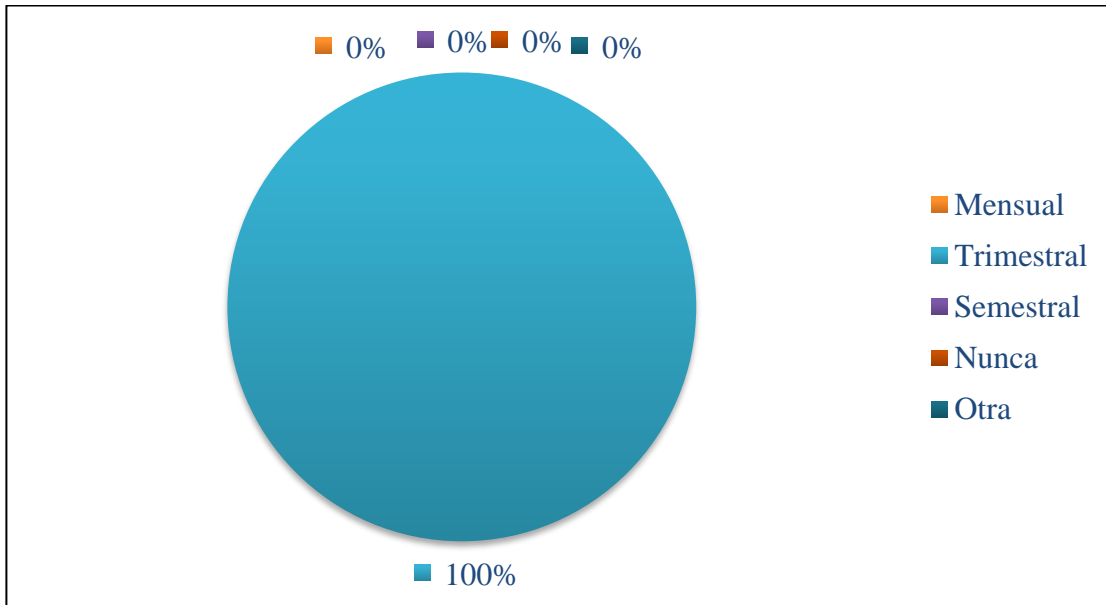
Frecuencias de capacitaciones al personal para el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Mensual	0	0%
Trimestral	2	100%
Semestral	0	0%
Nunca	0	0%
Otra	0	0%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Gráfica 7**

Frecuencias de capacitaciones al personal para el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** El personal de mantenimiento, es capacitado Trimestralmente por jefe de mantenimiento Industrial.

## **IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La metodología empleada en este estudio a través de los distintos métodos y técnicas utilizadas permitió analizar y evaluar la información recopilada con las distintas herramientas de investigación utilizadas en el trabajo de campo, con ello se logró unificar criterios para formular las conclusiones y recomendaciones para poder comprobar o rechazar la hipótesis planteada y logros de objetivos.

A continuación, se exponen las conclusiones y recomendaciones:

### **IV.1. Conclusiones**

1. Se comprueba la hipótesis: “La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en equipo industrial; es debido a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis)”.
2. Según investigación realizada se establece que existen retrasos en la aplicación de efluentes generados por fallos en los equipos industriales del manejo de los subproductos hacia Compostera.
3. De acuerdo con la boleta entregada al coordinador de compostera se determina que los niveles nutricionales no han disminuido y no descartaba la posibilidad que los mismos puedan aumentar por medio del aumento en la aplicación de efluentes.
4. Se determina según la investigación realizada que existen aumentos en las temperaturas del compost por la disminución en la aplicación de efluentes ya que los mismos no son suficientes para mantener temperaturas bajas.

5. No se cuenta con un plan de mantenimiento en los equipos industriales del área del manejo de los subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites.
6. En el área del manejo de los subproductos se estableció de acuerdo con la investigación realizada, que no se llevan a cabo mantenimientos preventivos específicos a los equipos industriales.
7. Se capacita al personal de mecánicos para los mantenimientos específicos a los equipos industriales sin embargo no se contaba con plan de capacitaciones.
8. El personal de mecánicos que lleva a cabo los mantenimientos específicos a los equipos industriales recibe capacitaciones, pero sin fechas establecidas.
9. Personal de Mantenimiento no cuenta con listado de verificación de las herramientas que poseen en su caja de trabajo, al momento de que le haga falta alguna pueda que no se percate luego y en los mantenimientos la tenga que usar y por no tener un registro no se percate de la falta de la herramienta hasta el momento que está realizando el mantenimiento.
10. Mecánicos reciben capacitaciones específicas para los mantenimientos en los equipos industriales sin fechas establecidas.

## **IV.2. Recomendaciones**

1. Propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.
2. Aumentar el volumen de aplicación de efluentes en compostera para que los niveles nutricionales aumenten y las plantaciones sean beneficiadas con abono orgánico de alta calidad.
3. Aumentar el volumen de aplicación de efluentes a compostera para que el compost tenga cierto porcentaje de humedad y disminuyan las temperaturas altas.
4. Implementar un plan de mantenimiento preventivo y evitar fallas en los equipos industriales para aumentar el volumen de aplicación de efluentes en compostera.
5. Implementar un plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales, para que no sean reparados solo cuando fallan y retrasar la aplicación de los efluentes.
6. Se crea un plan de capacitaciones.
7. Se crea e implementa un plan de capacitaciones donde se especifica la semana a realizar la capacitación.

8. Se implementa lista de verificación en el personal de mantenimiento para contar con toda la herramienta necesaria para llevar a cabo los mantenimientos en los equipos industriales.
  
9. Se elabora un plan de capacitaciones para mecánicos que son los encargados de llevar a cabo los mantenimientos específicos de los equipos industriales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agricultores, N. (02 de 29 de 2020). <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/bombas-de-riego>. Obtenido de Novagric: <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/bombas-de-riego>
2. Alberto, G. N. (1991). Estado actual del Manejo de Efluentes en Colombia. *Palmas, No. 15*, 141-147.
3. Althausen, M. (2016). Tratamiento de Efluentes de la Planta de beneficio. En M. Althausen, *Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio Convertir un residuo en un recurso*. (Vol. 37, págs. 31-37). Revista Palmas.
4. Angarita, E. E., & Contreras, N. (2011). Centro de Investigación Aceite de Palma. Bogotá: Cenipalma.
5. Chinchilla A, C., & Durán, N. (1997). *MANEJO DE PROBLEMAS FITOSANITARIOS EN PALMA ACEITERA*. COLOMBIA: PALMAS (COLOMBIA). 19 (NÚMERO ESPECIAL): 242- 256. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1103>
6. CONSTRUMÁTICA. (2005). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el 26 de Marzo de 2021, de CONSTRUMÁTICA: [https://www.construmatica.com/construpedia/Planta\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.construmatica.com/construpedia/Planta_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)
7. Contreras, N. E., Silva Ramírez, A. S., Garzón González, E. M., & Yañez Angarita, E. E. (2011). Centro de Investigación en Palma de Aceite. En *Centro de Investigación en Palma de Aceite*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.google.com/search?q=Caracterizaci%C3%B3n+y+manejo+de+subproductos+del+beneficio+del+fruto+de+palma+de+aceite&oq=Caracterizaci%C3%B3n+y+manejo+de+subproductos+del+beneficio+del+fruto+de+palma+de+aceite&aqs=chrome..69i57j938j0j1&sourceid=chrome&>
8. Contreras, N. E., Silva Ramírez, A. S., Garzón González, E. M., & Yañez Angarita, E. E. (Diciembre de 2011). *Centro de Investigación en Palma de Aceite*. Bogotá,, Colombia. Recuperado el 02 de 04 de 2020, de <https://www.google.com/search?q=Caracterizaci%C3%B3n+y+manejo+de+subproductos+del+beneficio+del+fruto+de+palma+de+aceite&oq=Caracterizaci%C3%B3n+y+manejo+de+subproductos+del+beneficio+del+fruto+de+>

9. Cuidoelagua.org. (2009). *¿Qué es una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?* Recuperado el 26 de Marzo de 2021, de Cuidoelagua.org: [http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/plantatratamiento.html#:~:text=Es%20una%20instalaci%C3%B3n%20donde%20a,del%20consumo%20humano%20\(no%20para](http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/plantatratamiento.html#:~:text=Es%20una%20instalaci%C3%B3n%20donde%20a,del%20consumo%20humano%20(no%20para)
10. Elizabeth Tilley, L. U. (11 de 11 de 2014). [https://akvopedia.org/wiki/Lechos\\_de\\_Secado\\_sin\\_Plantas](https://akvopedia.org/wiki/Lechos_de_Secado_sin_Plantas). Obtenido de [https://akvopedia.org/wiki/Lechos\\_de\\_Secado\\_sin\\_Plantas](https://akvopedia.org/wiki/Lechos_de_Secado_sin_Plantas)
11. Fair, G. J. (1966. ). *Water and Wastewater Engineering*. . En G. J. Fair, *Water and Wastewater Engineering*. (Vol. No2). Nueva York, Estados Unidos.: John Wiley and Sons. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales)
12. Fuentes, H. C. (1994). *Algunos Aspectos del Procesamiento de Aceite de Palma*. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado el 2021
13. Hauser, B. (1,996). *Plantas de Tratamientos de aguas residuales domesticas*. (Lewis Publishers, Editor) Recuperado el 28 de 02 de 2020, de Ecured: [https://www.ecured.cu/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales)
14. Marquez, B. F. (16 de 09 de 2016). *conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii*. Obtenido de [conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii](https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii): <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii>
15. Marquez, B. F. (03 de 10 de 2016). *conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv*. Obtenido de [conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv](https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv): <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv>
16. Marquez, B. F. (12 de 09 de 2016). *conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i*. Obtenido de [conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i](https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i): <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
17. Martínez, A. (28 de 09 de 2017). *Republica.gt*. Recuperado el 03 de 04 de 2020, de Republica.gt: <https://republica.gt/2017/09/28/naturaceites-una-empresa-referente-en-la-produccion-de-aceite-de-palma/>

18. Muñoz, O. (20 de 06 de 2011). *https://es.over-blog.com/Que\_son\_y\_para\_que\_sirven\_los\_agitadores\_industriales-1228321767-art233468.html*. Obtenido de Agitadores Industriales: [https://es.over-blog.com/Que\\_son\\_y\\_para\\_que\\_sirven\\_los\\_agitadores\\_industriales-1228321767-art233468.html](https://es.over-blog.com/Que_son_y_para_que_sirven_los_agitadores_industriales-1228321767-art233468.html)
19. Naturaceites by BITS, G. N. (2020). *Sostenibilidad*. Obtenido de Sostenibilidad: <https://www.naturaceites.com/es/sostenibilidad>
20. Noel, W. (2005). Capítulo 3: Procesos y sistemas de una planta de extracción de aceite de palma. En W. Noel, *Sinopsis del proceso de la palma de aceite* (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), Trad., Primera ed., Vol. I, págs. 3-14). Bogotá, Colombia: FEDEPALMA. Recuperado el 2021
21. Nuñez, M. d. (Junio de 2011). *DISEÑOS, ASESORÍA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA DE PADESA GUATEMALA*. Guatemala: Padesa, Guatemala.
22. Raffino, M. E. (04 de Agosto de 2020). *Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 26 de Marzo de 2021, de Concepto.de: <https://concepto.de/tratamiento-de-aguas-residuales/>
23. Romero Rojas, J. A. (1994). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
24. Romero Rojas, J. A. (1994). Lagunas de estabilización de aguas residuales. En *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales#cite\\_note-ReferenceA-1](https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales#cite_note-ReferenceA-1)
25. S.R.L., F. (2020). *Belgrano*. Recuperado el 18 de 03 de 2020, de 2020 FME Fabiani S.R.L. - Belgrano 650 - B8000IJN - Bahía Blanca - Buenos Aires – Argentina: <https://fabianisrl.com.ar/aireador-grundfos-difusor-para-plantas-de-efluentes/>
26. Spena Group. (2021). *El tratamiento de las aguas residuales*. Recuperado el 26 de Marzo de 2021, de Spena Group: <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>



27. Torres, R. (1998). *PROYECTO DE COMPOSTAJE DE LA FIBRA DE PINZOTE EN PLANTA PALO SECO, QUEPOS*. Quepos, Costa Rica: INFORME INTERNO. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1103>
28. Wais, I. (1977). *Ecología de la Contaminación Ambiental*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universo. Recuperado el 26 de Marzo de 2021
29. Wamberck, N. (2005). Capítulo 9: Centrífuga de lodos. En N. Wamberck, *Sinopsis del proceso de la palma de aceite* (F. N. (Fedepalma), Trad., Primera ed., Vol. I, pág. 11). Bogotá, Colombia: FEDEPALMA. Recuperado el 2021

## Anexo 1. Modelo de investigación dominó.

F-30-07-2019-01

### Modelo de investigación: Dominó

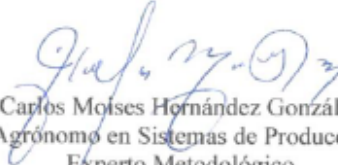
(Derechos reservados por Doctor Fidel Reyes Lee y Universidad Rural de Guatemala)

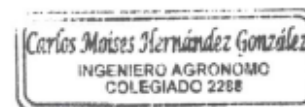
Elaborado por: Julio Alfonso Marroquin Hernández Para: Programa de Graduación Universidad Rural de Guatemala Fecha: 21-03-2022

Problema	Propuesta	Evaluación
<p><b>1) Efecto</b> Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años.</p>	<p><b>4) Objetivo general</b> Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.</p>	<p><b>14) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo general</b> Indicadores: al quinto año, el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera se mantiene en el 70% de absorción. Verificadores: estadísticas, informes, entrevistas.</p>
<p><b>2) Problema central</b> Fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos, de empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.</p>	<p><b>5) Objetivo específico</b> Evitar fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos, de empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.</p>	<p>Supuestos: el porcentaje de nutrientes en el compostaje se mantienen.</p>
<p><b>3) Causa</b> Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.</p>	<p><b>6) Nombre</b> Propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.</p>	<p><b>15) Indicadores, verificadores y cooperantes del objetivo específico</b> Indicadores: al primer año, existe 0% de interrupciones en equipo industrial del proceso de manejo de subproductos.</p>
<p><b>7) Hipótesis</b> “La disminución del volumen de aplicación de afluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis)”. ¿Es la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), por fallas en quipo industrial, la causante de la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa</p>	<p><b>12) Resultados</b>  Se fortalece con la unidad ejecutora.  Se cuenta con Propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), en empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.  Se cuenta con un programa de capacitación para operadores del equipo industrial.</p>	<p>Verificadores: estadísticas de interrupciones.  Supuestos: las metas de producción de compostaje se logran.</p>

Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años?		
<b>8) Preguntas claves para comprobar el efecto</b> 1. ¿Existe disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites? Si _____ No _____. 2. ¿Los niveles de nutriente en el compost, han disminuido? Si _____ No _____. 3. ¿Las temperaturas del compost han aumentado en alguna época del año? Si _____ No _____.	13) Ajustes de costos y tiempo	N/A
<b>9) Preguntas claves para comprobar la causa</b> 1. ¿Existe plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites? Si ___ No ___ 2. ¿Con que frecuencia brindan mantenimiento al equipo industrial del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites? 2.1 Mesual ___ 2.2 Trimestral ___ 2.3 semestral ___ 2.4 Nunca ___ 2.5 Otra ___ 3. ¿Poseen personal capacitado para brindar mantenimiento preventivo? Si _____ No _____. 4. ¿Con que frecuencia capacitan al personal de mantenimiento? 4.1 Mensual ___ 4.2 Trimestral ___ 4.3 semestral ___ 4.4 Nunca ___ 4.5 Otra ___		
<b>10) Temas de Marco Teórico</b> 1. Plantas de tratamiento de aguas residuales 2. Bombas de riego	14) Anotaciones, aclaraciones y advertencias	

<p>3. Los Agitadores Industriales</p> <p>4. Aireadores</p> <p>5. Mantenimiento en equipos industriales para plantas de tratamiento.</p> <p>6. Subproductos del proceso de extracción de aceite de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>) Aprovechamiento de subproductos del proceso de extracción de aceite de palma africana (<i>Elaeis guineensis</i>)</p> <p>7. Aprovechamiento de subproductos Empresa Naturaceites</p> <p>8. Empresa</p> <p>9. Efluente de una planta extractora de aceite de palma: Lodos de palma</p> <p>10. Tratamiento de efluentes en plantas extractoras de aceite</p> <p>11. Procesos y sistemas de una planta de extracción de aceite de palma</p>	
<p><b>11) Justificación</b></p> <p>El investigador tiene que evidenciar con proyección estadística y matemática, la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites.</p>	

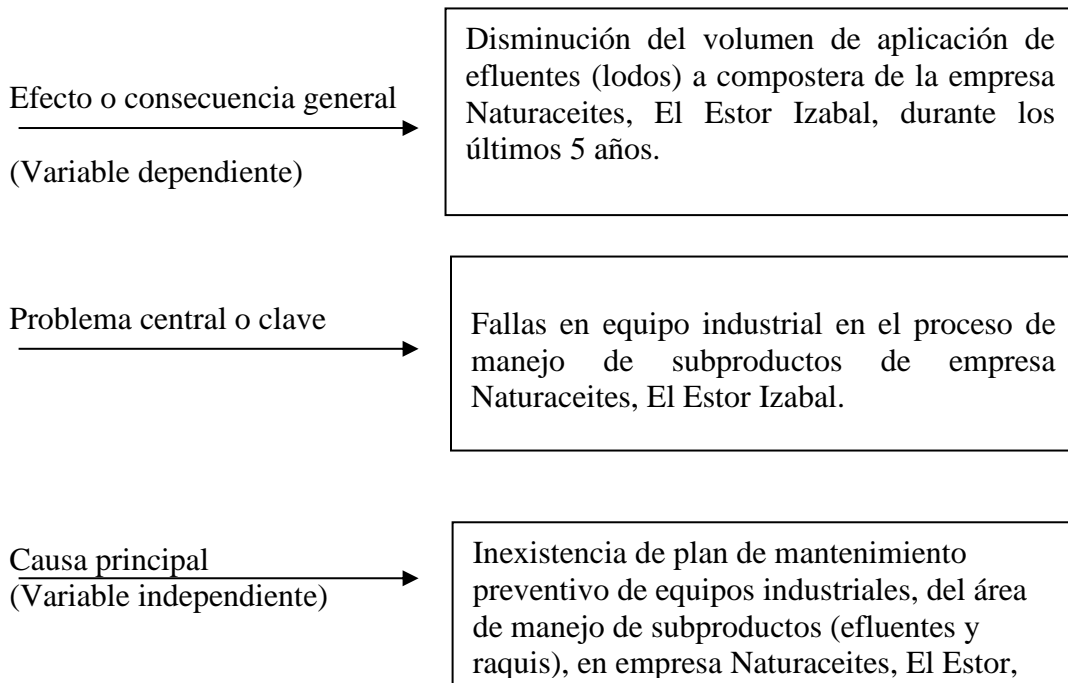
  
 Carlos Moises Hernández González  
 Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola  
 Experto Metodológico



## Anexo 2. Árbol de problemas, hipótesis de trabajo y árbol de objetivos

Tópico: Fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos.

De acuerdo con el diagnóstico realizado en Compostera Finca Pataxte El Estor, Izabal fue posible identificar el siguiente problema central, así como la causa y efectos principales.

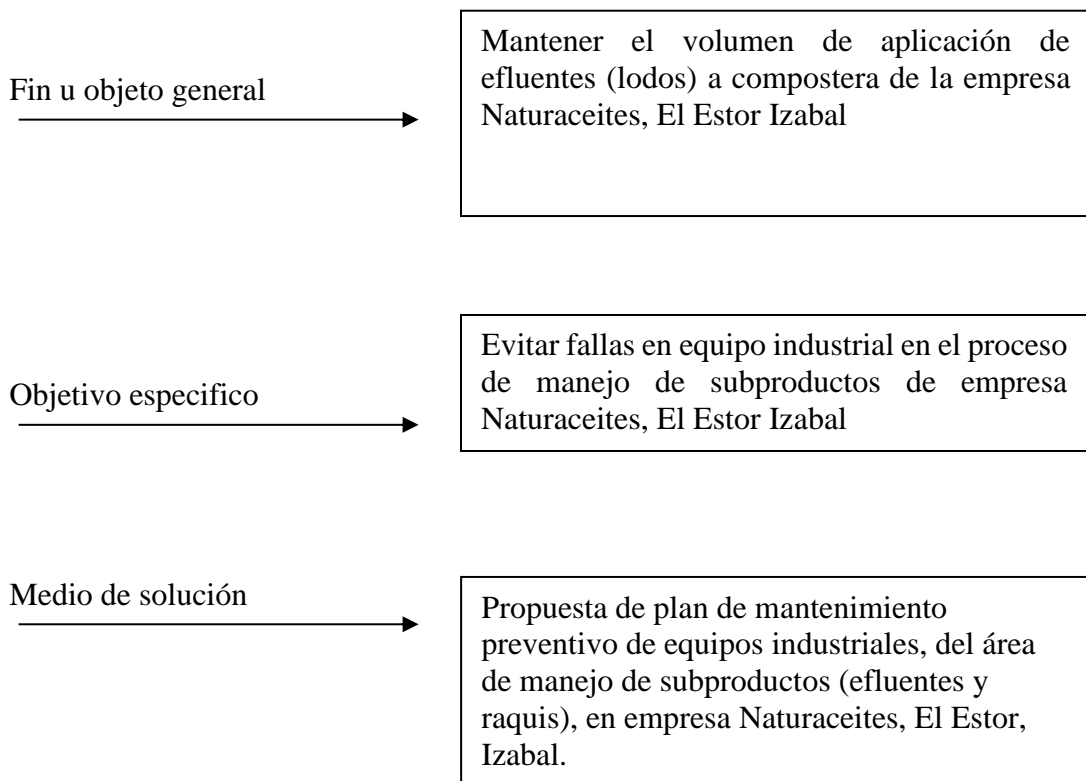


**Hipótesis:** “La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis)”.

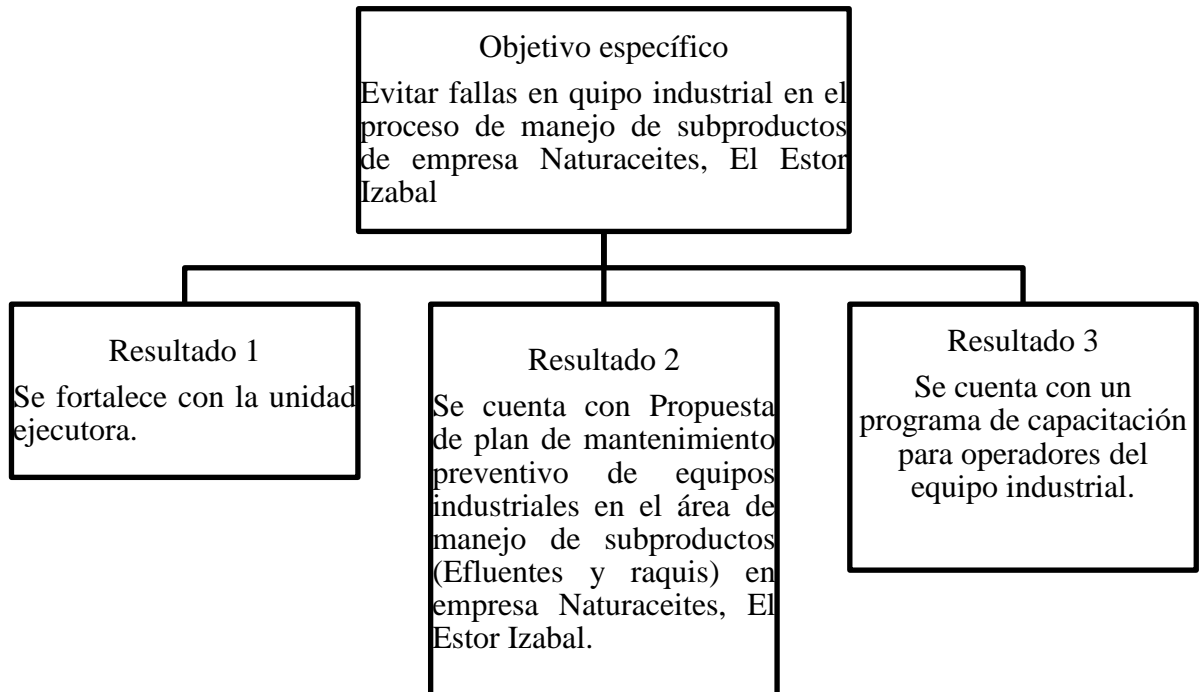
¿Es la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales. del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis), por fallas en quipo industrial, la causante de la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años?

### Árbol de objetivos resumido y comentado.

Conforme con la problemática, causa y efectos planteados en el árbol de problemas, fue posible la determinación y diagramación de los objetivos del trabajo de graduación.



### Anexo 3. Diagrama del medio de solución de la problemática



#### **Anexo 4. Boleta de investigación para la comprobación del efecto general**

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Dependiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable dependiente siguiente: Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años.

Esta boleta censal está dirigida a Coordinador de Compostera y gerente regional de sta.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Existe disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

2. ¿Los niveles de nutriente en el compost, han disminuido?

Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3. ¿Las temperaturas del compost han aumentado en alguna época del año?

Sí \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_



## **Anexo 5. Boleta de investigación para comprobación de la causa**

Universidad Rural de Guatemala

Programa de Graduación

Boleta de Investigación

Variable Independiente

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar la variable independiente siguiente: Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

Esta boleta censal está dirigida a jefe y supervisor de mantenimiento industrial.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Existe plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites?

sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

2. ¿Con que frecuencia brindan mantenimiento al equipo industrial del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites?

2.1 Mensual \_\_\_\_\_ 2.2 Trimestral \_\_\_\_\_ 2.3 semestral \_\_\_\_\_

2.4 Nunca \_\_\_\_\_ 2.5 Otra \_\_\_\_\_

3. ¿Poseen personal capacitado para brindar mantenimiento preventivo?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4. ¿Con que frecuencia capacitan al personal de mantenimiento?

4.1 Mensual \_\_\_\_\_ 4.2 Trimestral \_\_\_\_\_ 4.3 semestral \_\_\_\_\_

4.4 Nunca \_\_\_\_\_ 4.5 Otra \_\_\_\_\_

## **Anexo 6. Boleta de diagnóstico de la problemática**

Universidad Rural de Guatemala  
Programa de Graduación  
Boleta de Investigación  
Variable Problema central

Objetivo: Esta boleta de investigación tiene por objeto comprobar problema central siguiente: Fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

Esta boleta censal está dirigida a Mecánicos del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

**Instrucciones:** A continuación, se le presentan varios cuestionamientos, a los que deberá responder marcando con una “X” la respuesta que considere correcta y razónela cuando se le indique.

1. ¿Cuenta con la herramienta y equipo adecuado para efectuar el mantenimiento de los equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

2. ¿Ha recibido capacitaciones específicas para efectuar el mantenimiento de los equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

### **Anexo 7. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo de muestra**

Los lineamientos de universidad Rural indican que para poblaciones mayores de 35 individuos se calcula muestra y menores a esta es un censo.

No se calculó la muestra debido a la población que cumple con las características para comprobar la variable dependiente, estos son 4 individuos que se encuentran en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

La población que constituye la comprobación de la variable independiente es 1 individuos (jefe de mantenimiento industrial de empresa Naturaceites, El Estor Izabal).

## Anexo 8. Anexo metodológico comentado sobre el cálculo del coeficiente de correlación

Este coeficiente es un indicador estadístico que nos indica el grado de correlación de dos variables; es decir el comportamiento gráfico de las mismas, para trazar la ruta para proyectar dichas variables. En este caso el coeficiente de correlación es igual a -0.97, lo que indica que el comportamiento de estas variables obedece a la ecuación de la línea recta; cuya fórmula simplificada es la siguiente:  $y = a+bx$ .

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de  $+ - 0.80$  a  $+ - 1$ .

A continuación, se presentan los cálculos y fórmula utilizada para obtener dicho coeficiente.

Año	X (Años)	Y Volumen de aplicación de Efluentes (lodos) a Compostera extraído en metros cúbicos.	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2015	1	128868.4	128868.40	1	16607064518.56
2016	2	116561.54	233123.08	4	13586592607.17
2017	3	109362.22	328086.66	9	11960095163.33
2018	4	101452.68	405810.72	16	10292646279.18
2019	5	99834.75	499173.75	25	9966977307.56
Totales	15	556080	1595062.61	55	62413375875.80

Fuente de la variable Y: Boletas y bases de datos Compostera, Empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	1595062.61
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	62413375875.80
$\sum Y=$	556079.59
$n\sum XY=$	7975313.05
$\sum X*\sum Y=$	8341193.85
Numerador=	-365880.8
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum Y^2=$	312066879379.02
$(\sum Y)^2=$	309224510414.57
$n\sum X^2-(\sum X)^2=$	50
$n\sum Y^2-(\sum Y)^2=$	2842368964.46
$(n\sum X^2-(\sum X)^2)*(n\sum Y^2-(\sum Y)^2)$	142118448222.82
Denominador:	376986.0053
r=	-0.970542128

Fórmula:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2) * (n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

**Análisis:** Con el resultado 0.97 obtenido  $r=$  se determinó que las variables, (Y, X)

## Anexo 9. Anexo metodológico de la proyección lineal

Para proyectar el impacto que genera la problemática estudiada, se procedió a utilizar la proyección lineal del fenómeno estudiado.

Previo a ello se procedió a determinar el comportamiento de la variable tiempo, respecto a los casos sujetos de estudio en el tiempo, conforme a una serie histórica dada, la que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para considerarse como un comportamiento lineal, que se resume con la ecuación siguiente:  $y=a+bx$ .

Es importante destacar que para que se considere el comportamiento lineal de dos variables, el coeficiente de correlación debe oscilar de  $+ - 0.80$  a  $+ - 1$ ; cuyo cálculo es parte integrante de este documento.

A continuación, se presentan los cálculos y la tabla de análisis de varianza para proyectar los datos correspondientes.

### Proyección lineal

$$y = a + bx$$

Año	X (Años)	Y Volumen de aplicación de Efuentes (lodos) a Compostera extraído en metros cúbicos.	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2015	1	128868.4	128868.4	1	16607064518.56
2016	2	116561.54	233123.08	4	13586592607.17
2017	3	109362.22	328086.66	9	11960095163.33
2018	4	101452.68	405810.72	16	10292646279.18
2019	5	99834.75	499173.75	25	9966977307.56
Totales	15	556079.59	1595062.61	55	62413375875.80

Fuente de la variable Y: Boletas y bases de datos Compostera, Empresa Naturaceites, El Estor, Izabal.

n=	5
$\sum X=$	15
$\sum XY=$	1595062.61
$\sum X^2=$	55
$\sum Y^2=$	62413375875.80
$\sum Y=$	556079.59
$n\sum XY=$	7975313.05
$\sum X*\sum Y=$	8341193.85
Numerador de b:	-365880.8
Denominador de b:	
$n\sum X^2=$	275
$(\sum X)^2=$	225
$n\sum X^2 - (\sum X)^2 =$	50
b=	-7317.616
Numerador de a:	
$\sum Y=$	556079.59
$b * \sum X =$	-109764.24
Numerador de a:	665843.83
a=	133168.766

Formulas:

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X * \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n}$$

Situación sin proyecto

X	Año	y = a + bx
No. De año		Volumen de aplicación de Efluentes (lodos) a Compostera extraído
6	2020	89263
7	2021	81945
8	2022	74628
9	2023	67310
10	2024	59993

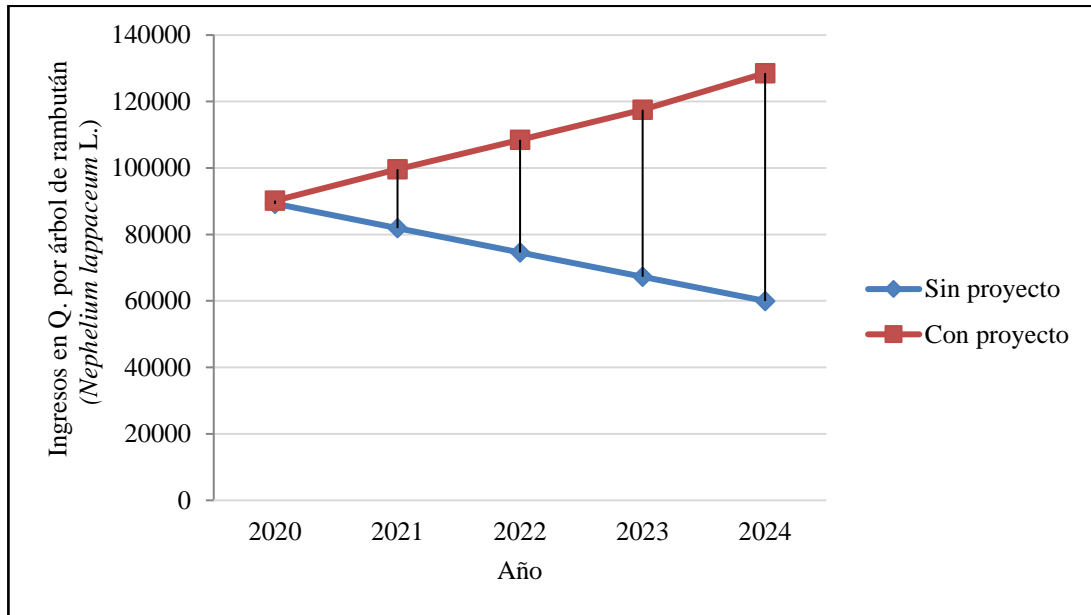
### Comparación de la situación con y sin propuesta

Volumen de aplicación de Efluentes (lodos) a Compostera extraído en metros cúbicos, con y sin proyecto.

Año	Volumen de aplicación de Efluentes (lodos) a Compostera extraído en metros cúbicos.		Diferencial
	Sin proyecto	Con proyecto	
2020	89263	90162	899
2021	81945	99567	17622
2022	74628	108451	33823
2023	67310	117516	50206
2024	59993	128546	68553
Sumatoria	373139	544242	171103

Fuente: Información de aplicación de efluentes obtenidos en bases de datos donde se ve reflejado la disminución de aplicación de efluente (lodos) a Compostera de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

Volumen de aplicación de Efluentes (lodos) a Compostera extraído en metros cúbicos, con y sin proyecto.



Fuente: Fuente: Información de aplicación de efluentes obtenidos en bases de datos donde se ve reflejado la disminución de aplicación de efluente (lodos) a Compostera de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

### Análisis:

Tomando como referencia de los últimos 5 años se puede apreciar la disminución en el volumen de aplicación en metros cúbicos de efluentes (lodos del proceso de la extracción de aceite de palma) sin contar con un plan de mantenimiento en los equipos industriales en el proceso del manejo de subproductos, sin embargo, en la proyección con plan de mantenimiento a los equipos industriales se observa un aumento notorio en la aplicación de efluentes.

## Anexo 10. Diagnóstico de la problemática

**Cuadro 11**

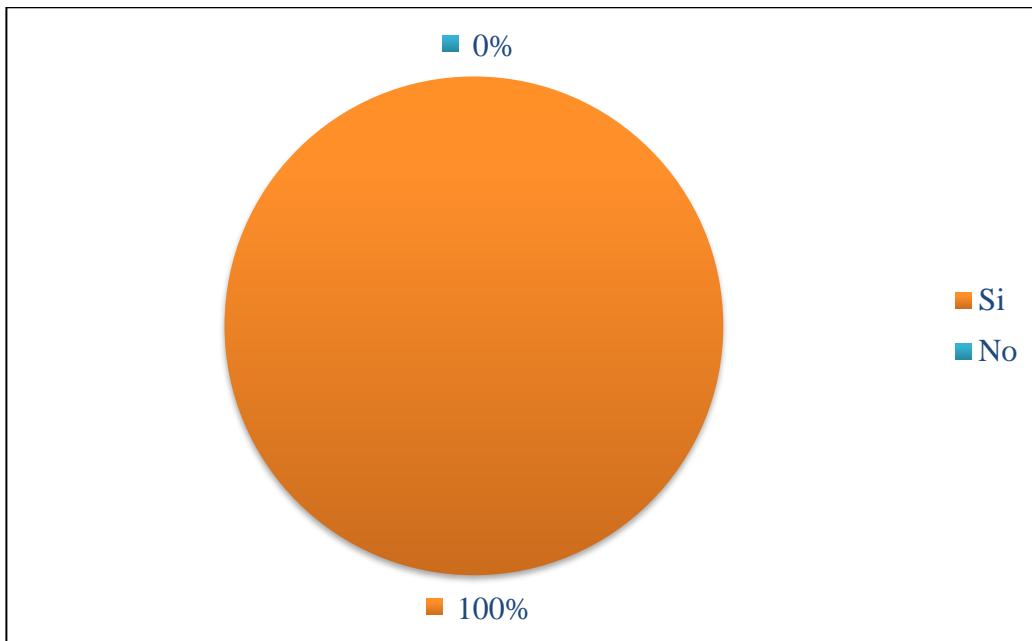
Herramienta y equipo adecuado para ejecutar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Si	2	100%
No	0	0%
Total	2	100%

Fuente: elaboración propia, entrevista dirigida a mecánicos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Gráfica 8**

Herramienta y equipo adecuado para ejecutar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a mecánicos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** Personal de mantenimiento cuenta con el equipo y herramienta adecuados para poder ejecutar el mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Cuadro 12**

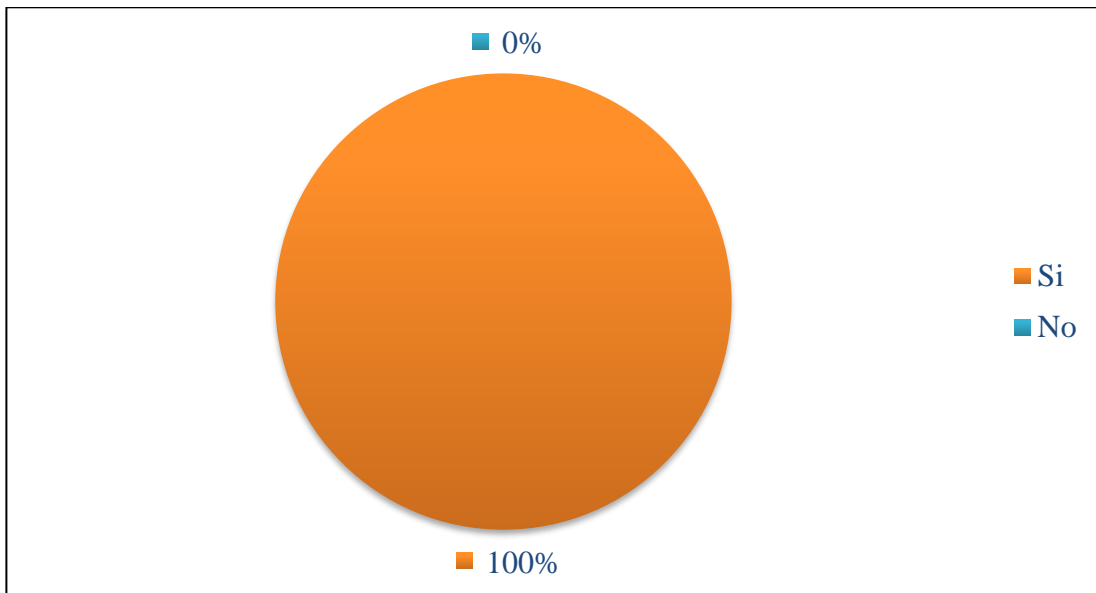
Capacitaciones específicas para realizar mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.

Respuesta	Valor absoluto	Valor relativo (%)
Sí	2	100%
No	0	0%
Total	2	100%

**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a mecánicos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Gráfica 9**

Capacitaciones específicas para realizar mantenimiento preventivo de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites.



**Fuente:** elaboración propia, entrevista dirigida a mecánicos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Febrero, 2020.

**Análisis:** Personal de mantenimiento ha recibido capacitaciones específicas para realizar los mantenimientos preventivos de los equipos industriales del área del manejo de los subproductos en empresa Naturaceites

Julio Alfonso Marroquin Hernández

**TOMO II**

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS  
INDUSTRIALES, DEL ÁREA DE MANEJO DE SUBPRODUCTOS  
(EFLUENTES Y RAQUIS), EN EMPRESA NATURACEITES, EL ESTOR,  
IZABAL.



Asesor General Metodológico:

Ing. Agr. Carlos Moises Hernández González

Universidad Rural de Guatemala  
Facultad de Ingeniería

Guatemala, abril 2022

## **PRÓLOGO**

En cumplimiento de lo establecido por la Universidad Rural de Guatemala, a través del programa de graduación, se realizó esta investigación de carácter científico (tesis), con el objetivo de profundizar en el problema evidenciado en la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal. Dicho proceso es fundamental para que el estudiante cumpla con este requisito y pueda optar para el título de Ingeniero Industrial con énfasis en Recursos Naturales Renovables.

Esta investigación se basa principalmente con la metodología del marco lógico, se presentan soluciones o ideas respecto al problema central, se lleva a cabo el árbol de problemas y objetivos, de lo cual se obtiene la hipótesis de la investigación, la misma que durante el proceso se pretende comprobar o rechazar, a través de métodos y técnicas para obtener fundamentos estadísticos e investigación documental.

## **PRESENTACIÓN**

Como parte del proceso de programa de graduación y el requisito previo a obtener el título universitario en el grado de Ingeniero Industrial, de la Universidad Rural de Guatemala, se presenta la investigación tipo académica y científica, posterior a optar al acto de investidura como profesional.

Dicha investigación se lleva a cabo en Naturaceites Finca El Pataxte, El Estor, Izabal, una empresa dedicada a la cultivo y extracción de aceite de palma africana, como principal enfoque de la investigación de la disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, consecuencia de fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos, ante la falta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis).

Para dar solución a la problemática se realiza la propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal, con el propósito principal de darle continuidad al funcionamiento de los equipos para la aplicación de efluentes, a través de mantenimientos preventivos, por medio de un plan de mantenimiento, de esta forma se logra buscar aumentar la absorción de aplicación de efluentes a compostera.

## ÍNDICE

	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
I	RESUMEN.....	1
II	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	9
	ANEXOS.....	1

## I. RESUMEN

Como cumplimiento con el programa de graduación de la Universidad Rural de Guatemala, se llevó a cabo el trabajo de investigación de tesis propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, el estor Izabal, el propósito principal es darle solución a la disminución de la aplicación de efluentes al raquis en proceso de compostaje.

Mencionada investigación se basa en el método lógico, diagramado en árbol de problema y sus objetivos, con el propósito de comprobar o rechazar la hipótesis a investigar. Para ello se utilizaron métodos como la búsqueda de datos, observación de los procesos y equipo del manejo de los subproductos, entrevistas a las personas involucradas para luego proceder al análisis de los resultados.

La investigación y estructura está conformada de cuatro capítulos, a continuación, detallo el orden.

Capítulo I: En este capítulo está incluida la estructura descriptiva del planteamiento del problema, hipótesis, objetivos: general y específicos, la justificación de la investigación y la metodología que incluye; métodos y técnicas.

Capitulo II: Contiene principalmente el marco teórico, los conceptos relacionados al tema del manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma.

Capitulo III: Este capítulo está compuesto por el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, lo cual se utilizó para la comprobación o rechazo de la hipótesis.

Capitulo IV: está compuesto por las conclusiones que se utilizaran para identificar la propuesta a formular y sus medios de solución. Las recomendaciones serán la base para solucionar la problemática planteada y alcanzar los objetivos que se propusieron.

## **Planteamiento del problema**

En compostera se tiene como meta la absorción mínima del 70% del efluente proveniente del proceso de la extracción de aceite de palma, en días de lluvia estos porcentajes se deben elevar para absorber el agua de lluvia y evitar un derrame en las lagunas.

Los fallos constantes en bombas han ocasionado en compostera la disminución de la aplicación de efluentes al compost provocando no llegar a la meta de 6m<sup>3</sup>/ TM de raquis por cama que es lo requerido para la buena calidad del compost.

La causa de la disminución en la aplicación de efluentes a compostera es la inexistencia de un plan de mantenimiento preventivo a los equipos industriales del área del manejo de subproductos (efluentes y raquis) frecuentemente se ve pausado el riego por los fallos en las bombas, actualmente son reparadas cuando fallan lo que ocasiona que los daños sean severos y la reparación sean a costos más elevados.

## **Hipótesis**

“La Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en equipo industrial; es debido a la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis)”

¿Es la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis), por fallas en equipo industrial la causante de la disminución del volumen de aplicación de afluentes (lodos) a compostera de la en empresa Naturaceites El Estor Izabal, durante los últimos 5 años?

## **Objetivos**

Los objetivos de la investigación se adquirieron del árbol de problemas, el efecto del problema se convirtió en el objetivo general y el problema central se convirtió en objetivo específico, los cuales se definen de la siguiente manera:

### **Objetivo General**

Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

### **Objetivo Especifico**

Evitar fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

### **Justificación**

La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años. Se refleja en la meta de absorción del 70% de los efluentes que envía planta del proceso de la extracción de aceite de palma.

La disminución en la aplicación es por fallos en los equipos industriales utilizados en el riego de efluentes al raquis en proceso de compostaje, esto debido a que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo en los equipos y únicamente son reparados cuando fallan, provocando pausas prolongadas en la aplicación de efluente.

Por la problemática de la disminución en la aplicación de efluentes a compostera nace la iniciática de investigar el problema antes descrito, al mismo tiempo proponer como parte de solución la propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, el estor Izabal, mismo que dentro de la estructura de la investigación



cuenta con componentes para lograr los objetivos propuestos, como: Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera y evitar Fallas en quipo industrial.

Se realizó el cálculo del coeficiente de correlación, en donde la variable dependiente está fuertemente correlacionada en el tiempo, Con un resultado de 0.97 de relación obtenido  $r=$  se determinó que las variables, (Y, X) están fuertemente correlacionadas, por lo que se puede aplicar el método de Línea Recta, en el cual se obtiene una disminución en la aplicación de efluentes de 59,993 m<sup>3</sup> (37.60% de absorción) aplicados para el 2024.

### **Metodología**

Los métodos y técnicas empleadas para la elaboración del presente trabajo de graduación, se expone a continuación:

### **Métodos**

Los métodos utilizados variaron en relación con la formulación de la hipótesis y la comprobación de esta; así: para la formulación de la hipótesis, el método utilizado fue esencial el método deductivo, el que fue auxiliado por el método del marco lógico para formular la hipótesis y los objetivos de la investigación, diagramados en los árboles de problemas y objetivos, que forman parte del anexo de este documento. Para la comprobación de la hipótesis, el método utilizado fue el inductivo, que contó con el auxilio de los métodos: estadístico, análisis y síntesis.

La forma del empleo de los métodos citados se expone a continuación:

## **Métodos y técnicas utilizadas para la formulación de la hipótesis**

Para la formulación de la hipótesis el método principal fue el deductivo, el cual permitió conocer aspectos generales del área de Aplicación de efluentes de Finca Naturaceites, departamento de Izabal. A este efecto, se utilizaron las técnicas que se especifican a continuación:

### **Observación directa.**

Esta técnica se utilizó directamente en el área del manejo de los subproductos, a cuyo efecto, se observó la forma en que actuaban los empleados; así como a terceras personas que poseían relación directa e indirecta con la misma, como mecánicos.

### **Investigación documental.**

Esta técnica se utilizó a efectos de determinar si se poseían documentos similares o relacionados con la problemática a investigar a fin de no duplicar esfuerzos en cuanto al trabajo académico que se desarrolló; así como, para obtener aportes y otros puntos de vista de otros investigadores sobre la temática citada. Los documentos consultados se especifican en el acápite de bibliografía, que fueron obtenidos a través de las fichas bibliográficas utilizadas en el transcurso de la revisión documental.

### **Entrevista.**

Una vez formada una idea general de la problemática, se procedió a entrevistar al personal del área de manejo de los subproductos de empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, a efectos de poseer información más precisa sobre la problemática detectada.

Ya poseyendo una visión más clara sobre la problemática del área del manejo de los sub productos de la extracción de aceite de palma, con la utilización del método deductivo, a través de las técnicas anteriormente descritas, se procedió a la formulación de la hipótesis, a cuyo efecto se utilizó el método del marco lógico, que

permitió encontrar la variable dependiente e independiente de la hipótesis, además de definir el área de trabajo y el tiempo que se determinó para desarrollar la investigación. La gratificación de la hipótesis se encuentra en el anexo 1.

La hipótesis formulada de la forma indicada es: “La Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis)”

¿Es la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, la causante de la disminución del volumen de aplicación de afluentes (lodos) a compostera, por fallas en quipo industrial en El Estor Izabal, durante los últimos 5 años?

El método del marco lógico nos permitió también, entre otros aspectos, encontrar el objeto general y el específico de la investigación; así como nos facilitó establecer la denominación del trabajo en cuestión.

### **Métodos y técnicas empleadas para la comprobación de la hipótesis.**

Para la comprobación de la hipótesis, el método principal utilizado, fue el método inductivo, con el que se pudo obtener resultados específicos o particulares de la problemática identificada; lo cual sirvió para diseñar conclusiones y premisas generales, a partir de tales resultados específicos o particulares.

A este efecto, se utilizaron las técnicas que se especifican a continuación:

### **Entrevista.**

Previo a desarrollar la entrevista, se procedió al diseño de boletas de investigación, con el propósito de comprobar las variables dependiente e independiente de la hipótesis previamente formulada. Las boletas, previo a ser aplicadas a población objetivo, sufrieron un proceso de prueba, con la finalidad, de hacer más efectivas las preguntas y propiciar que las respuestas, proporcionaran la información requerida, después de ser aplicada.

### **Determinación de la población a investigar.**

En atención a este tema se determinó que se entrevistaría a 4 personas involucradas en el manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma para determinar la problemática.

Después de recabar la información contenida en las boletas, se procedió a tabularlas; para cuyo efecto se utilizó el método de estadístico y el método de análisis, que consistió en la interpretación de los datos tabulados, en valores absolutos y relativos, obtenidos después de la aplicación de las boletas de investigación, que poseyeron como objeto la comprobación de la hipótesis previamente formulada.

Una vez interpretada la información, se utilizó el método de síntesis, a efecto de obtener las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación; el que sirvió además para hacer congruente la totalidad de la investigación, con los resultados obtenidos producto de la investigación de campo efectuada.

### **Técnicas**

Las técnicas empleadas, tanto en la formulación como en la comprobación de la hipótesis, se expusieron anteriormente, pero estas variaron de acuerdo con la etapa de la formulación de la hipótesis y a la comprobación de esta; así:

Como se describió en el apartado (1.5.1 Métodos), las técnicas empleadas en la formulación fueron: la observación directa, la investigación documental y las fichas bibliográficas; así como la entrevista a las personas relacionadas directamente con la problemática.

Por otro lado, la comprobación de la hipótesis, se utilizó la entrevista.

Como se puede advertir fácilmente, la entrevista estuvo presente en la etapa de la formulación de la hipótesis y en la etapa de la comprobación de esta.

La investigación documental, estuvo presente además de las dos etapas indicadas, en toda la investigación documental y específicamente, para conformar el marco teórico.

La propuesta de solución está conformada por los resultados y actividades siguientes:

**Resultado 1. Se fortalece con la unidad ejecutora.**

Actividad 1. Disponibilidad de personal.

Actividad 2. Capacitaciones sobre mantenimientos a equipos industriales.

**Resultado 2. Se cuenta con propuesta de plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.**

Actividad 1. Reunión con Coordinador de Compostera y jefe de Mantenimiento Industrial.

Actividad 2. Elaboración de Plan de Mantenimiento para equipos industriales.

Actividad 3. Verificar si cuentan con herramientas y equipos el personal de mecánicos para implementación de plan de mantenimiento en los equipos industriales.

**Resultado 3. Se cuenta con un programa de capacitaciones para operadores del equipo industrial.**

Actividad 1. Capacitación.

Actividad 2. Información Visual

## **II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **II.1 Conclusión**

Se comprueba la hipótesis: “La disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos), a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor, Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales, del área de manejo de subproductos (efluentes y raquis)”, con 90% de nivel de confianza y 10% de error de muestreo.

### **II.2 Recomendación**

Operativizar la propuesta de solución denominada: plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal, para mitigar la disminución en la aplicación de efluentes a compostera en Finca El Pataxte El Estor Izabal, para producir compost con niveles nutricionales altos y óptimos para su aplicación.

## **Anexo 1. Propuesta para solucionar la problemática**

La presente investigación se llevó a cabo en Finca El Pataxte, El Estor, Izabal, el problema de la investigación es: Fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal, lo anterior tiene como efecto la Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, durante los últimos 5 años, y la causa del problema es la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis)

La hipótesis que se comprobó fue: “La Disminución del volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal, durante los últimos 5 años, por fallas en quipo industrial; es debido a la Inexistencia de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales del área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis)”

El objetivo general es: Mantener el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal

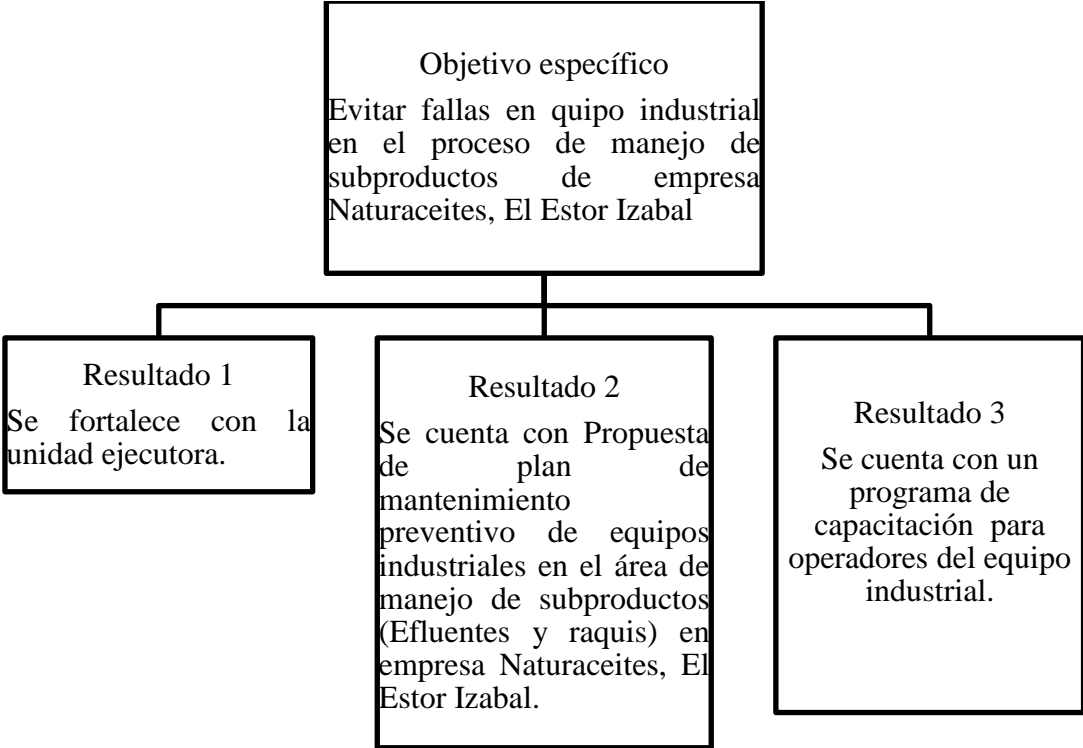
El objetivo específico es: Evitar fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal

El medio de solución está formado por tres resultados que son:

Resultado 1. Se fortalece con la unidad ejecutora.

Resultado 2. Se cuenta con propuesta de plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.

Resultado 3. Se cuenta con un programa de capacitaciones para operadores del equipo industrial.





## **Descripción de los resultados**

La implementación del proyecto permitirá que en Compostera de Finca El Pataxte, El Estor Izabal, por medio de un plan de mantenimiento y programa de capacitaciones se logre aumentar el volumen de aplicación de efluentes (lodos) a compostera. Para esto se presenta la propuesta formada por tres resultados que se desarrollan a continuación:

### **Resultado 1. Se fortalece con la unidad ejecutora.**

La unidad ejecutora está formada por: Mecánicos industriales que son los encargados de realizar los mantenimientos preventivos para el cumplimiento y ejecución de la propuesta de solución a la problemática.

**Objetivo del Resultado:** Disponer y capacitar la unidad ejecutora para llevar a cabo la propuesta de solución a la problemática.

Dentro de las actividades a realizar se encuentran:

### **Actividad 1. Disponibilidad de personal.**

Se plantea disponer con personal de mecánicos del área industrial para que ellos sean los encargados de llevar a cabo la propuesta, la unidad ejecutora dará los mantenimientos preventivos a los equipos industriales.

### **Acciones para realizar:**

1. Disponer de dos mecánicos.
2. Monitorear la propuesta, la unidad ejecutora.
3. Ejecutar, guiar y brindar seguimiento a la propuesta de solución a la problemática.

## **Actividad 2. Capacitaciones sobre mantenimientos a equipos industriales.**

El objetivo primordial de capacitar a los mecánicos se debe a que ellos serán los encargados de llevar a cabo los mantenimientos preventivos a los equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y Raquis). Las capacitaciones deben ser trimestralmente.

### **Acciones que realizar:**

1. Dar a conocer el plan de acción a los mecánicos y jefe de mantenimiento industrial.
2. Capacitar a los mecánicos para que de mejor manera realicen los mantenimientos preventivos a los equipos industriales.

## **Resultado 2. Se cuenta con propuesta de plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.**

Es de suma importancia que se cuente con un plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) Este servirá para aumentar el volumen de aplicación de efluentes a Compostera y así obtener compost de mejor calidad.

**Objetivo del resultado:** Aumentar el volumen de aplicación y evitar paros en la aplicación de efluentes.

Dentro de las actividades a realizar se encuentran:

### **Actividad 1. Reunión con Coordinador de Compostera y jefe de Mantenimiento Industrial.**

Esta reunión es de gran importancia porque se da a conocer el problema y los medios de solución, se determinan objetivos y metas para llevar a cabo el proyecto planteado.

#### **Acciones por realizar:**

1. Reunión donde se da a conocer el problema, medios de solución, objetivos y metas del proyecto.

### **Actividad 2. Elaboración de Plan de Mantenimiento para equipos industriales.**

Dentro del plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales se enlistan los pasos y actividades para llevarlo a cabo.

#### **Acciones que realizar:**

1. Elaborar el plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales.
2. Imprimir el plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales.
3. Presentación del plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales a Coordinador de Compostera y jefe de mantenimiento Industrial, (Ver anexo cuatro)

### **Actividad 3. Verificar si cuentas con herramientas y equipos el personal de mecánicos para implementación de plan de mantenimiento en los equipos industriales.**

Es de suma importancia que el personal de mantenimiento cuente con la herramienta necesaria.

#### **Acciones que realizar:**

1. Entrega de caja personal de herramientas para realizar los mantenimientos preventivos.
2. Revisión de estado de las herramientas entregadas.
3. Abastecer la caja de herramientas si una queda fuera de uso.

**Resultado 3. Se cuenta con un programa de capacitaciones para operadores del equipo industrial.**

Se cuenta con el programa de capacitaciones que pretende enseñar sobre el uso correcto de los equipos industriales.

**Objetivo del resultado:** Informar sobre el uso adecuado y percatarse de fallas en equipos industriales.

**Actividad 1. Capacitación.**

De manera trimestral se realizarán capacitaciones.

**Acciones por realizar:**

1. Cuadro 1 programa de capacitaciones.

Plan de capacitaciones																
Plan de capacitaciones para mecanicos y operadores de equipos industriales														Responsable: Jefe de mantenimiento Industrial y Coordinador de Compostera		
Capacitaciones Trimestrales																
Meses	Marzo				Junio				Septiembre				Diciembre			
Capacitaciones	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mantenimientos a equipos industriales																
Operatividad de equipos industriales																

Fuente: Departamento de Compostera Naturaceites.

2. Presentación de capacitación.

**Actividad 2. Información Visual**

Material que tendrán como fin informativo sobre la operatividad de los equipos.

**Acciones por realizar:**

1. Capacitaciones en presentaciones visuales.
2. Entrega de instructivos operativos de los equipos.

## Anexo 2 Matriz de la estructura lógica

La siguiente matriz de la estructura lógica es un instrumento que sirve para evaluar el cumplimiento de los objetivos de la propuesta, después de su desarrollo.

Componentes del plan	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Objetivo general: Mantener el volumen de aplicación de afluentes (lodos) a compostera de la empresa Naturaceites, El Estor Izabal	Al quinto año el volumen de aplicación de afluentes (lodos) a compostera se mantiene en el 70% de absorción.	Verificadores, estadísticas, informes, entrevistas.	El porcentaje de nutrientes en el compostaje se mantienen.
Objetivo específico Evitar fallas en quipo industrial en el proceso de manejo de subproductos de empresa Naturaceites, El Estor Izabal	Al segundo semestre existe 0% de interrupciones en equipo industrial del proceso de manejo de subproductos.	Verificadores, estadísticas de interrupciones.	Cooperantes, las metas de producción de compostaje se logran.

<p><b>Resultado 1</b></p> <p>Se fortalece con la unidad ejecutora.</p>			
<p><b>Resultado 2</b></p> <p>Se cuenta con Propuesta de plan de mantenimiento preventivo de equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.</p>			
<p><b>Resultado 3</b></p> <p>Se cuenta con un programa de capacitación para operadores del equipo industrial.</p>			

### Anexo 3. Plan de trabajo

Actividades por resultado	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>Resultado 1. Se fortalece con la unidad ejecutora</b>										
<b>Actividad 1. Disponibilidad de personal.</b> Se plantea contar con personal de mecánicos del área industrial para que ellos sean los encargados de llevar a cabo la propuesta, la unidad ejecutora dará los mantenimientos preventivos a los equipos industriales.										
Disponer de dos mecánicos.										
Monitorear la propuesta, la unidad ejecutora.										
Ejecutar, guiar y brindar seguimiento a la propuesta de solución a la problemática.										
<b>Actividad 2. Capacitaciones sobre mantenimientos a equipos industriales.</b>										
Dar a conocer el plan de acción a los mecánicos y jefe de mantenimiento industrial.										
Capacitar a los mecánicos para que de mejor manera realicen los mantenimientos preventivos a los equipos industriales.										

**Resultado 2. Se cuenta con propuesta de plan de mantenimiento preventivo en equipos industriales en el área de manejo de subproductos (Efluentes y raquis) en empresa Naturaceites, El Estor Izabal.**

<b>Actividad 1. Reunión con Coordinador de Compostera y jefe de Mantenimiento Industrial.</b>										
Reunión donde se da a conocer el problema, medios de solución, objetivos y metas del proyecto.										
<b>Actividad 2. Elaboración de Plan de Mantenimiento para equipos industriales.</b>										
Elaborar el plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales.										
Imprimir el plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales.										
Presentación del plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales a Coordinador de Compostera y jefe de mantenimiento Industrial.										
<b>Actividad 3. Verificar si cuentas con herramientas y equipos el personal de mecánicos para implementación de plan de mantenimiento en los equipos industriales.</b>										
Entrega de caja personal de herramientas para realizar los mantenimientos preventivos.										
Revisión de estado de las herramientas entregadas.										



Abastecer la caja de herramientas si una queda fuera de uso.										
<b>Resultado 3. Se cuenta con un programa de capacitaciones para operadores del equipo industrial.</b>										
<b>Actividad 1. Capacitación.</b>										
Programa de Capacitaciones										
Presentación de capacitaciones										
<b>Actividad 2. Información Visual.</b>										
Capacitaciones en presentaciones visuales.										
Entrega de instructivos operativos de los equipos.										

### Anexo 4. Plan de mantenimiento preventivo

<b>Plan Mantenimiento Preventivo semestre de enero-Junio</b>																																									
<b>Mantenimiento Equipos Industriales para el manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma</b>																		<b>Responsable: jefe de mantenimiento industrial, Coordinador de Compostera, mecánicos y operadores de equipos industriales</b>																							
<b>Aireadores, Agitadores, Bombas Eléctricas sumergibles, Bombas de gasolina y Diésel y Válvulas</b>																																									
<b>Actividades/ Semestres</b>																		<b>Primer Semestre</b>																							
<b>Actividades/Meses</b>																		<b>Enero</b>				<b>Febrero</b>				<b>Marzo</b>				<b>Abril</b>				<b>Mayo</b>				<b>Junio</b>			
<b>Actividades/Semanas</b>																		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Revisión y limpieza de Válvulas																																									
Revisión de aceites y limpieza de bombas																																									
Mantenimiento de engrase bombas																																									
Servicio de Pintura																																									
Revisión de Ejes y Aspas																																									
Sistemas Eléctricos.																																									

Bombas sumergibles	
Bomba Eléctrica	
Bombas gasolina y diésel	
Agitadores	
Aireadores	
Válvulas	

Plan Mantenimiento Preventivo semestre de Julio-Diciembre																								
Mantenimiento Equipos Industriales para el manejo de los subproductos posterior a la extracción de aceite de palma																Responsable: jefe de mantenimiento industrial, Coordinador de Compostera, mecánicos y operadores de equipos industriales								
Aireadores, Agitadores, Bombas Eléctricas sumergibles, Bombas de gasolina y Diésel y Válvulas																								
Actividades/ Semestres	Segundo Semestre																							
Actividades/Meses	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
Actividades/Semanas	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 y limpieza de Válvulas																								
Revisión de aceites y limpieza de bombas	■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■	
Mantenimiento de engrase bombas	■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■	
Servicio de Pintura	■				■				■				■				■				■			
Revisión de Ejes y Aspas						■		■		■		■		■		■		■		■		■		■
Sistemas Eléctricos.					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■