



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

**TEMA:
OBTENCIÓN DE UN ACEITE DIELECTRICO A PARTIR DE LA PULPA DE
LA FRUTA AGUAJE (*MAURITIA FLEXUOSA*) PARA SUSTITUIR
ACEITES MINERALES EN LOS TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS**

AUTORES:

**RODRÍGUEZ CÁRDENAS JONATAN KELVIN
SILVA MORAN DENNYS ÁNGEL**

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Q.F. LUIS FELIPE ZALAMEA MOLINA MSc.

**Guayaquil - Ecuador
2017**

DEDICATORIA. – JONATAN RODRIGUEZ.

Dedico especialmente trabajo a mi pequeña Heather, principal precursor de mi epopeya,
dejándole un legado de conciencia científica y ansias de investigación.

Cuando aprendas a leer esto, entenderás que todo esfuerzo amargo tiene su dulce
recompensa.

A mis padres Beatriz y Carlos por darme los mejores regalos posible, la educación y los
deseos de superación constante.

Espero no haberlos defraudado.

Mi esposa Allison, leal compañera de este inefable viaje; a tu lado los retos parecen más
sencillos de cumplir.

No le temo al futuro si lo enfrentamos juntos.

As astra per aspera – A las estrellas por el camino difícil.

Misión Apolo

DEDICATORIA. – DENNYS SILVA.

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Ángel Silva Guerrero y Lucia Moran Muñoz y a mis hermanos Joselyn y Ángel por el incansable apoyo en este proceso, enseñándome que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Espero haberles dado la satisfacción de otra meta cumplida.

A mi hija Valentina Silva Zeballos que me dio el impulso necesario para poder continuar con los objetivos trazados, espero algún día puedas leer esto y poder sembrar en ti la semilla de la perseverancia para que puedas cumplir con tus sueños.

A mi esposa Ingrid Zeballos Samaniego, compañera de mil batallas esto no hubiera sido posible sin tu apoyo incondicional hacia mí, junto a ti todo reto es posible.

Gracias por tu amor.

AGRADECIMIENTOS JONATAN R.C:

Agradezco profundamente a mi familia, por sus deseos y apoyo incondicional,

A mi hija Heather y mi esposa Allison, mi familia eterna.

A mi madre Beatriz, guerrera invencible, dedicada y amorosa

A mi padre Carlos, me enseñaste dos cosas vitales para mí:

El valor de la puntualidad y la devoción por los hijos.

Mi hermana Maribel, mi segunda madre, mujer de temple y gallardía, te admiro.

Marjorie y Jhann, hermanos, gracias por confiar en mí.

A él director de tesis Q.F. Luis Zalamea por ser el faro que guio nuestra ruta por aguas corrientosas.

A grandes maestros que a lo largo de mi carrera universitaria reforzaron en mí el análisis crítico y científico, siempre predispuestos a ayudar, especialmente los ing. Carlos Muñoz, Manuel Fiallos, José Cárdenas, Cesar Ortiz, Paula Recalce, Raúl Serrano y Mario Aguilera.

Finalmente, y no menos importante a mi gran amigo y compañero de tesis Dennys Silva por su dedicación e ímpetu.

... INFINITAS GRACIAS

AGRADECIMIENTOS DENNYS S.M:

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento:

A mi familia por haberme apoyado en este largo camino, al gran sacrificio que han hecho para que pueda cumplir una meta más.

Al director de tesis Q.F. Luis Felipe Zalamea por el apoyo y las ganas de compartir sus conocimientos e instruirnos en este tema de investigación.

A el Ing. Qco Mario Aguilera por sus enseñanzas su gran labor como docente y su amistad de manera incondicional.

Al Ing. Qco Raúl Serrano Carlín por sus enseñanzas en el aula de clases que ahora con mucha satisfacción he aplicado en el tema de investigación.

A mi compañero de tesis Jonatan Rodríguez Cárdenas por su apoyo y dedicación en el proyecto más que un compañero eres un gran amigo.

...Gracias.

DERECHOS DE AUTORÍA

JONATAN KELVIN RODRÍGUEZ CÁRDENAS Y DENNYS ANGEL SILVA MORAN, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de su autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la **UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL- FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

JONATAN KELVIN RODRÍGUEZ C.

C.I. 092429295-6

DENNYS ANGEL SILVA M.

C.I. 092918107-1

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Q.F. Luis Felipe Zalamea Molina MSc., certifica haber tutelado la tesis, **OBTENCIÓN DE UN ACEITE DIELECTRICO A PARTIR DE LA PULPA DE LA FRUTA AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA) PARA SUSTITUIR ACEITES MINERALES EN LOS TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS**, que ha sido desarrollado por **JONATAN KELVIN RODRÍGUEZ CÁRDENAS Y DENNYS ANGEL SILVA MORAN**, previa la obtención del título de Ingeniero en QUIMICA, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la **UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Q.F. Luis Felipe Zalamea Molina MSc.

C.I: 090419005-5

CONTENIDO

DEDICATORIA. – JONATAN RODRIGUEZ.....	ii
DEDICATORIA. – DENNYS SILVA.....	iii
AGRADECIMIENTOS JONATAN R.C:.....	iv
AGRADECIMIENTOS DENNYS S.M:.....	v
DERECHOS DE AUTORÍA.....	vi
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
DELIMITACIÓN.....	4
HIPÓTESIS.....	4
VARIABLES.....	5
OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLES.....	5
CAPÍTULO II.....	7
1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.2 TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS.....	12
2.3 ACEITES PARA TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS.....	19
2.4 INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE LOS ÉSTERES NATURALES.....	38
2.5 FUTURAS INVESTIGACIONES.....	47
CAPÍTULO III.....	48
3.1 ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.3 POBLACIÓN.....	48
3.4 MUESTRA.....	48
3.5 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	48
3.6 METODOLOGÍA.....	49
3.7 PROCESOS –DIAGRAMA GENERAL.....	50
3.8 BALANCE DE MATERIA.....	53
3.9 PRUEBAS PROPIEDADES DIELECTRICAS.....	55
3.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS INSTRUMENTOS APLICADOS.....	56
3.11 VALORES PROMEDIO DE ACEITES ANIMALES Y ACEITES VEGETALES.....	58
3.12 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE ACEITES AGUAJE Y CANOLA.....	58

3.13 CUADRO COMPARATIVO ENTRE ALGUNOS ACEITES DIELECTRICOS.....	59
CAPÍTULO IV.....	61
4.1 CONCLUSIONES.....	61
4.2 RECOMENDACIONES.....	62
4.3 BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- VARIABLE INDEPENDIENTE.	5
Tabla 2.- VARIABLE DEPENDIENTE.....	6
Tabla 3.- ANÁLISIS DE FRUTAS MAURITIA FLEXUOSA ENCONTRADA EN LA NATURALEZA ...	9
TABLA 4.-ANALISIS CROMATOGRAFICO ACIDOS GRASOS ACEITES VEGETALES	11
TABLA 5.- USO DE ACEITES PARA TRANSFORMADORES	20
TABLA 6.- PRINCIPALES PRODUCTORES MUNDIALES DE ACEITE DIELECTRICO.....	22
TABLA 7.- PRODUCTOS Y MARCAS RECONOCIDAS	23
TABLA 8.- PARTIDA IMPORTACIÓN ACEITE AISLANTE DIELECTRICO	23
TABLA 9.- TOP DE PAÍSES PROVEEDORES DE ACEITE DIELECTRICO PARA ECUADOR. 24	
TABLA 10.- DISTRIBUCIÓN POR PROVINCIA DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA EN ECUADOR	32
TABLA 11.- ACEITE CONTAMINADO EN ECUADOR DISCRIMINADO POR CONCENTRACIÓN.	33
TABLA 12.- TOTAL GENERAL INCLUYENDO TANQUES DE ALMACENAMIENTO	34
TABLA 13.- DETALLE POR EQUIPO DE LAS CANTIDADES DE ACEITE CONTAMINADO. 34	
TABLA 14.- DETERMINACIÓN DE ACEITE CONTAMINADO EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS (L/KV)	35
TABLA 15.- RESUMEN DE LA CANTIDAD TOTAL DE ACEITE.....	36
TABLA 16.- ESTIMACIÓN DEL ACEITE CONTAMINADO EN ECUADOR.....	36
TABLA 17.- COMPARACIÓN DEL ACEITE MINERAL Y EL ESTER NATURAL	41
Tabla 18.- PORCENTAJE DE HUMEDAD CONTENIDO EN EL MESOCARPIO DE LA FRUTA MAURITIA FLEXUOSA.....	56

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Representación esquemática de un transformador	14
Ilustración 2.- Balance general de transformador Ideal (Sawa; et al.,1990)	15
Ilustración 3.- Composición de hidrocarburos de un aceite dieléctrico mineral típico.....	21
Ilustración 4.- Formas en la que los seres humanos están expuestos a los PCB.....	28
Ilustración 5.- Cronología de los aceites naturales para transformadores.....	39
Ilustración 6.- Palma Aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i>) y la disposición de sus frutas.....	70
Ilustración 7.- Fruta Aguaje madura	70
Ilustración 8.- Distribución geográfica de los asentamientos de <i>Mauritia flexuosa</i>	70
Ilustración 9.- Aspecto externo fruta Aguaje <i>Mauritia Flexuosa</i>	71
Ilustración 10.- Fruta expuesta-Mesocarpio <i>Mauritia flexuosa</i>	71
Ilustración 11.- Detalle de la estructura de la flor y la fruta de la <i>Mauritia flexuosa</i>	71
Ilustración 12.- Productos a base de Aguaje A) Aceite B) Capsulas C) Polvo nutricional.....	72
Ilustración 13.- Vendedora ambulante de jugo de Aguaje, conocida como Aguajera	72
Ilustración 14.- Helado de paila de <i>Mauritia flexuosa</i> (Aguaje)	72

Ilustración 15.- Bolsas de pasta de Aguaje- Aguajina	73
Ilustración 16.- Vendedor ambulante de Aguaje.....	73
Ilustración 17.- Bolos fríos de jugo de Mauritia flexuosa-Aguaje.....	73
Ilustración 18.- Selección, separación y corte de la pulpa de Aguaje.....	74
Ilustración 19.- Pesado de la muestra Pulpa seca/ Muestra en el extractor soxhlet	75
Ilustración 20.- Medición de solvente Rubber Solvent/ Sistema de extracción sol.-liq.....	75
Ilustración 21.- Aceite Mauritia flexuosa mezclado con el solvente	76
Ilustración 22.- Rotavapor y Bomba de vacío puesta en marcha	76
Ilustración 23.- Aceite de aguaje después del proceso de destilación rotatoria	77
Ilustración 24.- Sistema de prensado manual continuo/ Aceite de aguaje por prensado	77

INDICE DE GRAFICAS

GRÁFICA 1.- PERDIDA DE HUMEDAD (MESOCARPIO DE LA FRUTA MAURITIA FLEXUOSA)	57
---	----

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.- PROCESO GENERAL	53
Diagrama 2.-EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO Y DESTILACIÓN ROTATORIA.....	53

RESUMEN

Obtención de aceite dieléctrico a partir de la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*) para sustituir aceites minerales en los transformadores eléctricos., Los métodos realizados para la extracción de aceite fueron de carácter exploratorio experimental, los cuales son: Análisis cualitativo , obtención de la fruta de aguaje, extracción del aceite de la pulpa y cascara mediante los métodos estudiados (CARDOSO, CARVALHO, BARBOSA,, 2009), determinación de las propiedades físico-químicas y dieléctricas (tensión de ruptura, factor de disipación , y resistividad). Los resultados del análisis físico-químico son: contenido de agua 54 ppm, índice de acidez 0.5 %, punto de fluidez -28 °C, viscosidad 33 mm²/s°C, Punto de inflamación 330 °C, índice de yodo 66.6 mg I₂/100g, índice de refracción 1.46, y densidad 0.86 g/cm³. Los resultados de las propiedades dieléctricas fueron: tensión de ruptura 45 kV/cm, factor de disipación < 0,003, y Tensión interraccional 40 dinas /cm. Estos resultados nos indican que el aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa*) cumple con todas las especificaciones que exige el cliente tanto en sus propiedades físico-químicas, como en sus propiedades dieléctricas. Además el aceite dieléctrico de aguaje (*Mauritia flexuosa*) contrarresta los efectos de contaminación al ambiente ya que por ser un éster de origen vegetal orgánico no contiene sustancias químicas dañinas para el medio ambiente y la salud, por este motivo sería la principal alternativa al uso de aceites de origen mineral y sintético que se comercializan en el mercado.

Palabras claves: **Dieléctrico, Aguaje, aceite, éster, transformadores**

ABSTRACT

Obtaining of dielectric oil from the aguaje pulp (*Mauritia flexuosa*) to substitute mineral oils in the electrical transformer., The methods used for the extraction of oil were experimental exploratory, which are: Qualitative analysis, obtaining the fruit Of the pulp and cascara oil by means of the methods studied (CARDOSO, CARVALHO, BARBOSA, 2009), determination of the physical-chemical and dielectric properties (tensile strength, dissipation factor and resistivity). The results of the physical-chemical analysis are: water content 54 ppm, acidity index 0.5%, pour point -28 ° C, viscosity 33 mm² / s ° C, flash point 330 ° C, iodine value 66.6 mg I₂ / 100g, refractive index 1.46, and density 0.86g / cm³. The results of the dielectric properties were: rupture stress 45 kV / cm, dissipation factor <0.003, and interfacial tension 40 dynes / cm. These results indicate that the oil of aguaje (*Mauritia flexuosa*) complies with all the specifications that the client demands in both its physico-chemical properties and its dielectric properties. In addition, the dielectric oil of aguaje (*Mauritia flexuosa*) counteracts the effects of contamination to the environment since being an ester of organic plant origin does not contain chemicals harmful to the environment and health, for this reason would be the main alternative to the use of Oils of mineral and synthetic origin that are commercialized in the market.

Key words: **Dielectric, Aguaje, oil, ester, transformers**

INTRODUCCIÓN

El aguaje *Mauritia flexuosa* L.f. es una planta nativa de Sudamérica en regiones Amazónicas; existen grandes reservas a lo largo de la cuenca amazónica cuyas frutas son recolectadas para el consumo humano por su agradable sabor y sobre todo por sus propiedades nutricionales (antioxidantes, aminoácidos, fitoestrógenos, vitaminas, minerales) (Storti, 1993)

Para pobladores nativos son un valioso recurso económico y social, usados incluso para elaborar utensilios para el hogar con sus semillas y sus hojas para recubrir sus techos.

El trabajo de investigación se centra en sus propiedades dieléctricas que se determinarán de acuerdo a análisis experimentales y donde además se compararán los resultados obtenidos con las muestras de aceite de origen mineral y sintético existente; para así verificar si cumple con las especificaciones técnicas de los aceites que se usan en los transformadores y otros equipos eléctricos.

Entre los análisis a los que debe someter al aceite vegetal están las normas ASTM D-1816, ASTM D-924 y ASTM D-971; donde comprobaremos que cumple con las propiedades establecidas para ser usado como sustituto del aceite mineral.

Finalmente, este estudio busca además reforzar el inalienable sentido de conversación ambiental, ampliando el uso de nuevas opciones orgánicas que sustituyan las sintéticas; incluso promover la creación de un producto que sea comercializado de forma nacional e internacional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los transformadores son aparatos fundamentales en los sistemas que conforman la transmisión y distribución de energía eléctrica que permite el suministro de potencia eléctrica a los usuarios finales.

Durante muchos años los transformadores inmersos en aceite han empleado principalmente como elemento aislante y refrigerante aceites derivados del petróleo (aceite sintético). Este tipo de aceite posee ventajas técnicas y económicas que lo hacen que sea atractivo para su uso, entre las cuales se encuentra su alto desempeño durante altos rangos de tiempo y su costo relativamente bajo cuando se compara con otras alternativas existentes en el mercado.

Pero cuando hablamos de temas ambientales surgen desventajas si comparamos el uso de aceites de origen vegetal con los de origen mineral es por eso que se plantea en el siguiente trabajo de investigación la obtención de un aceite dieléctrico a partir de la pulpa y cascara de la fruta aguaje (*Mauritia flexuosa*) como alternativa para el uso en transformadores, ya que estos aceites de origen mineral presentan considerables desventajas tales como que no son biodegradables; lo que genera un gran impacto ambiental y otra no menos importante su bajo punto de inflamación, que puede conducir a la generación de incendios, e impedir, por lo tanto su uso en ambientes cerrados.

Otra problema que presentan los aceites dieléctricos de origen mineral es el contenido de compuestos orgánicos persistentes COP'S, ya que estas sustancias químicas son altamente tóxicas y duraderas por este motivo representa un grave peligro para el medio ambiente y la salud humana. (Bodmer, 1990)

FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Se puede producir aceite dieléctrico orgánico a partir de la fruta de aguaje (*Mauritia flexuosa*)?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Qué factores se deben de tomar en cuenta para considerar al aceite de aguaje como aceite dieléctrico?

¿Cuáles son las variables que afectan la producción de un aceite de origen orgánico?

¿Qué metodología se debe emplear para la elaboración y desarrollo de este proyecto?

¿Qué impacto generara la producción de este aceite en el tema ambiental?

OBJETIVO GENERAL

OBTENER UN ACEITE DIELECTRICO A PARTIR DE LA PULPA AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA) PARA SUSTITUIR ACEITES MINERALES EN LOS TRANSFORMADORES ELECTRICOS

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar las operaciones unitarias necesarias para obtener un aceite de la pulpa del aguaje (*Mauritia flexuosa*), tales como molienda, secado, triturado, etc.
- Determinar sus propiedades dieléctricas (tensión de ruptura, factor de disipación , y resistividad)
- Comparar las propiedades físico-químicas entre los aceites de uso mineral y vegetal

A. Justificación Teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar un sustituto ecológico y sostenible para el uso de aceites refrigerantes en los transformadores eléctricos; siendo esta alternativa igual de eficiente.

B. Justificación Metodológica

Los métodos a realizar serán de carácter exploratorio experimental, los cuales son: Análisis cualitativo, obtención de la fruta de aguaje, extracción del aceite de la pulpa y cascara mediante los métodos estudiados (CARDOSO, CARVALHO, BARBOSA., 2009), determinación de las propiedades dieléctricas (tensión de ruptura, factor de disipación, y resistividad)

C. Justificación Práctica

La importancia del proyecto se basa en las propiedades dieléctricas que pueda poseer el aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa*) para ser usado como medio refrigerante en el uso de transformadores.

Siendo comparados inicialmente con aceites usados actualmente en los transformadores en cuanto a sus propiedades físico-químicas.

DELIMITACIÓN.

Una vez obtenido nuestro aceite de origen orgánico realizamos pruebas de propiedades dieléctricas y comparamos los resultados obtenidos con los valores referenciales de los aceites de origen mineral existentes en el mercado.

HIPÓTESIS.

¿El aceite orgánico vegetal cumplirá con las características físico-electro-químicas para poder ser usado como aceite dieléctrico en transformadores de baja tensión?

VARIABLES.

Se definen las variables que inciden en el desarrollo adecuado de la investigación

correspondiente, indicando estos factores se podrá expresar la información de manera clara y precisa.

1. VARIABLES INDEPENDIENTES.

- Tamaño de la partícula del sólido. (Granulometría)
- Aceite orgánico vegetal del aguaje

2. VARIABLE DEPENDIENTE.

- Condiciones físico – químicas.
- Propiedades dieléctricas.

OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLES.

Tabla 1.- VARIABLE INDEPENDIENTE.

VARIABLE INDEPENDIENTE	ETAPAS	DEFINICIÓN	SUB-VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	EQUIPO O TECNICA	NORMA O METODO
PROCESOS	EXTRACCIÓN SOLIDO - LIQUIDO	SEPARACIÓN DE SUSTENCIAS POR ARRASTRE DE SOLVENTES	TAMAÑO DE LA PARTICULA DEL SOLIDO	INTERVALO CONTINUO	TAMIZADO	NTE INEN -ISO 17059
			VOLUMEN DE ACEITE ORGÁNICO VEGETAL			

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Tabla 2.- VARIABLE DEPENDIENTE.

VARIABLE DEPENDIENTE	ETAPAS	DEFINICIÓN	SUB-VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	EQUIPO O TECNICA	NORMA O METODO
COMPOSICIÓN DE COMPUESTO VOLÁTILES	Caracterización química	Los análisis químicos por cromatografía de gases que permite determinar la composición química del aceite	Número de la biblioteca de compuestos volátiles	Proporción.	Cromatografía de gases	Análisis Cualitativo
			Gas inerte que lo transporta			Métodos de coincidencia
ACEITE DIELECTRICO	formulación y mezclado	Las empresas que suministran electricidad usan en los transformadores aceites derivados del petróleo; las propiedades eléctricas que pueda poseer el aceite de aguaje (mauritia flexuosa) para ser usado como medio refrigerante en el uso de dichos transformadores.	Condiciones físico-químicas	Nominal	Viscometro	ISO 22715
					Colorímetro	
					pH	ISO 22716
					medir el rango accesible según norma (inem)	NTEM INEN 2867

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

CAPÍTULO II

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Desde principios de los noventa empezaron las investigaciones de líquidos dieléctricos de origen vegetal que se consideraban fluidos sumamente biodegradables y tienen un alto punto de inflamación; que derivan en ventajas sobre los aceites sintéticos de alto costo. Se han estudiado varios aceites vegetales amazónicos como alternativas sustentables y ecológicas, entre ellos el Aguaje (*Mauritia flexuosa*), Copaiba (*Copaifera officinalis*) y Babasú (*Attalea speciosa* u *Orbignya phalerata*), y con esto asegurar que sean los más adecuados para el uso en los transformadores eléctricos, esto conlleva a investigar sus propiedades dieléctricas a fondo.

En el presente trabajo se presenta una revisión específicamente del aceite de la *Mauritia flexuosa*, caracterizado por estar compuesto principalmente por ácidos grasos de cadena larga, tocoferoles y carotenos.

Los carotenos le dan su color rojo-naranja; sus tocoferoles, son antioxidantes naturales que forman vitamina E. Además de estos componentes, presentan alguna cantidad de clorofila en la cascara y pulpa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MAURITIA FLEXUOSA

Nombre Científico: *Mauritia flexuosa* L.f., Suppl. Pl.: 454 (1782).

Familia: Palmae Arecaceae

Género: *Mauritia* (Dransfield et al., 2008)

Nombre Común: Moriche

Otros Nombres Comunes: Palma moriche, burití, canangucha, aguaje, morete, palma real, Kuia, Eteweshi.

La *Mauritia flexuosa*, está restringido a la zona tropical de Sudamérica y aparentemente su centro de especiación fue la cuenca amazónica (M. E. P. Calderón, 2002). Se expandió centrípetamente a partir de la cuenca amazónica, colonizando las regiones bajas y mal drenadas de Suramérica (Feild et al .,2007). Actualmente la especie presenta una distribución a lo largo del norte de Sudamérica, oriente de los Andes, dónde forma a menudo grandes asociaciones en tierras ácidas y anegadas, correspondientes a Brasil, Colombia, Bolivia, Venezuela, Ecuador, Surinam, Guyana Francesa e Inglesa y Trinidad (Rengifo Salgado et al ., 2010)

La *Mauritia flexuosa* es una planta dioica, arborescente monocaule que puede alcanzar una altura promedio de 40 metros, como se reporta para la región amazónica un diámetro de 30 a 60cm, y finaliza en una corona de 15 a 20 hojas costapalmadas dispuestas en espiral, de 2,5 metros de largo y 4,5m de ancho, con sus hojas senescentes persistentes (Mesa et al ., 2013)

Las inflorescencias masculinas y femeninas son de tipo interfoliare y semejantes. Las masculinas presentan un raquis leñoso y cilíndrico de longitud promedio de 3,23 metros; cubiertos de brácteas cónicas y se producen entre 4 a 7 raquis por año (Trujillo-Gonzalez, et al ., 2011).

Las inflorescencias femeninas presentan de 2-8 por raquis por palma con un promedio de longitud de 2,44 metros de longitud promedio y se estiman por raquilla 3,612 flores entre 1,7 cm de ancho por 1,2 cm. de largo, que producen en promedio 479 frutos (Storti, 1993).

Las flores femeninas se caracterizan por presentan cáliz en forma de campana, corola tripartida, gineceo súpero, ovario trilocado, óvulos ortótropos y estigma sésil. La semilla presenta una forma subglobosa con un endospermo homogéneo.

Los frutos son drupas, es decir, monospermos de mesocarpio carnoso, coriáceo o fibroso que rodea un endocarpio leñoso, de 6 a 7cm. de longitud de color café-rojizo cuando alcanzan la madurez, con un peso que varía entre los 15 a 120g., con un promedio de 50g. Constituidos por un exocarpio con escamas imbricadas y fuertemente soldadas. (E. Calderón, et al., 2007)

El aguaje presenta un tapete de raíces que crece 20 centímetros por debajo del suelo y alcanza una distancia horizontal de 40 metros cubriendo un área de más de 5000 metros cuadrados (Vasquez et al., 2008) con raíces secundarias aéreas llamadas neumatóforos que permiten a las plantas respirar aire en hábitats con suelos anegados, lo que concede al aguaje superioridad competitiva por espacio y aire y posibilita el establecimiento de rodales puros en zonas desfavorables a otras especies (de Oliveira, Siqueira, Nunes, & Cota, 2013)

Tabla 3.- ANÁLISIS DE FRUTAS MAURITIA FLEXUOSA ENCONTRADA EN LA NATURALEZA

	VALORES*
CONTENIDO DE ACEITE	12-24%
CONTENIDO DE PROTEINA	2,3-3,7%
CONTENIDO DE FOSFORO	27 mg/100g pulpa
PROVITAMINA A	4,6 mg/100g pulpa

Fuente: (STORTI, 1993).

2.1.1 Reproducción y Longevidad:

Se propaga por semillas las cuales germinan después de los 2 meses aproximadamente. La maduración del fruto ocurre de 7 a 12 meses después de la floración. Estas palmas comienzan su etapa reproductiva a los 8 años y tienen una longevidad alrededor de 40 años. (Manzi et al., 2009)

2.1.2 Usos y Propiedades

Esta fruta amazónica tiene un agradable sabor y es de alto consumo en las poblaciones donde crece; incluso se constituye en el recurso económico y social de mayor importancia para muchas poblaciones amazónicas. En la Amazonía baja de Perú, es abiertamente consumida

sobre todo por las mujeres. En Venezuela las comunidades indígenas producen una masapan (harina); en Brasil se convierte en la mayor fuente alimenticia para poblaciones en las laderas del Estado do Pará y en Ecuador juega un papel importante en la alimentación de poblaciones autóctonas.

Del aguaje maduro se obtiene la "pasta" (pulpa sin semilla) de donde se elabora la famosa *aguajina* que es una bebida denominada leche de la Amazonía, incluso se prepara un delicioso helado de aguaje, entre otros.

De su semilla se obtiene "marfil vegetal" que es utilizado para la elaboración de diversos utensilios para el hogar, botones y artesanías (Espinosa/De La Cruz et al., 2012)

Las hojas son usadas para techos de casas y producción de fibras, cordeles, sogas, hamacas, esteras, canastos, redes de pesca y atuendos ceremoniales (Rondón, 2004)

La pulpa de *M. flexuosa* L. f. es una de las más nutritivas del trópico y que resalta por tener propiedades altamente nutritivas, dentro de las cuales tenemos:

- Rica en aminoácidos esenciales para el cuerpo (proteínas vegetales) (Trujillo-Gonzalez et al ., 2011)
- Contiene aceites naturales vegetales con propiedades excelentes para la piel.(Albuquerque, Guedes, Alcantara, & Moreira, 2003)
- Es rico en antioxidantes, los cuales ayudan a rejuvenecer y regenerar las células de forma efectiva, evitando el deterioro prematuro de estas. (Bonadie et al ., 2000)
- Rico en Fito estrógenos (hormonas vegetales). (Endress et al .,2013)
- Un potente depurativo, ayuda a mantener la sangre e intestinos libres de toxinas, gases y residuos grasos innecesarios. (de Oliveira et al., 2013)

- Muy elevado contenido de vitaminas y minerales, los cuales nutren a profundidad el cabello, la piel y las uñas. (Bonadie & Bacon, 2000)
- Rico en vitaminas como el caroteno (Provitamina A), tocoferoles (Vitamina E), y ácido ascórbico (Vitamina C). Estas proteínas en conjunto le confieren propiedades para ayudar a vencer todo tipo de infecciones, ya sea de piel, de vías respiratorias, estomacales, etc.

Las propiedades físicas y químicas de la *Mauritia flexuosa* se caracterizaron por mediciones de pérdida dieléctrica y de calorimetría diferencial de barrido. El espectro de absorción infrarroja y la asignación de las bandas observadas entre 650 y 4000 cm⁻¹ han sido recientemente reportadas. (Espinosa et al., 2012)

2.1.3 Composición de ácidos grasos

La *Mauritia flexuosa* L.f, al igual que otras especies de palmas es fuente de aceites y grasas que se extraen del mesocarpio de los frutos maduros mediante procesos sencillos realizados por campesinos e indígenas. El aceite de aguaje tiene un alto contenido en ácido oleico equivalente al de otras especies oleaginosas y palmas nativas.

TABLA 4.-ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO ÁCIDOS GRASOS ACEITES VEGETALES

SATURADOS

ÁCIDO GRASO	AGUAJE	SEJE	PALMA DE ACEITE
Láurico	-	-	0,35
Mirístico	-	-	1,09
Palmítico	15,45	10,49	40,51
Esteárico	1,41	3,53	3,9
TOTAL	16,86	14,02	45,85

INSATURADOS

ÁCIDO GRASO	AGUAJE	SEJE	PALMA DE ACEITE
Oleico	79,33	80,08	41,47
Linoleico	1,32	3,29	11,04
Linolénico	1,06	0,83	0,26
TOTAL	81,71	84,2	52,77

*Analytical Laboratories Testing and consulting 2017 IDR 8512-2017

**Cromatografía, Método U.S.P Tomado de: (Trujillo et al., 2011)

2.1.4 Relaciones ecológicas

La *Mauritia flexuosa* L. f., es uno de los recursos alimenticios utilizados por diversas especies en el reino animal amazónico, tales como loros, peces, guacamayos, monos y tortugas ((Bodmer, 1990), (Bonadie & Bacon, 2000), (Brightsmith & Bravo, 2006)), que a su vez difunden las semillas en terrenos más amplios, garantizando la propagación de la especie. (Urrego Giraldo, 1987)

A lo largo de la llanura aluvial de la amazonia Colombo-ecuatoriana se encontró que en zonas mal drenadas donde las lluvias no cesan la mayor parte del año, domina la *Mauritia flexuosa* L. f., que representa hasta 75% del área basal total y con un dosel superior amplio de 20m. De altura en promedio.

La comunidad del aguaje juega un rol importante como protectora de cauces de agua permanente, particularmente en zonas con climas tan marcado. (Lasso, Rial, & Gonzalez, 2013)

2.2 TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

2.2.1 HISTORIA

Michael Faraday en 1831 fue pionero en la inducción electromagnética, precisamente en lo que se base el funcionamiento del transformador, que explica que cualquier variación de flujo magnético que atraviesa un circuito cerrado genera una corriente inducida, y que permanece únicamente mientras se produce el cambio de flujo magnético.

La primera "bobina de inducción" fue inventada en Irlanda en el año de 1836 por el sacerdote Nicholas Joseph Callan en la Universidad de Maynooth.

La comunidad científica ha centrado sus esfuerzos en perfeccionar las bobinas de inducción para obtener mayores tensiones en las baterías. En lugar de corriente alterna (CA), su acción

se basó en un "do&break" mecanismo vibrador que regularmente intercepta el flujo de la corriente directa (DC). (A. Pernia Marino, 2016)

Entre 1830 y 1870, los esfuerzos para diseñar nuevas y mejores bobinas de inducción, en su gran mayoría mediante prueba y error, reveló poco a poco conceptos esenciales de los transformadores. No fue sino hasta 1880 que aparece un modelo práctico que sería decisivo en la "Guerra de las Corrientes", y en que el sistema de distribución de corriente alterna triunfaron sobre sus homólogos de corriente continua, lo que prevalece desde entonces.

El ingeniero ruso Pavel Yablochkov por el año de 1876 inventó un sistema de iluminación basado en un conjunto de bobinas de inducción cuyo funcionamiento radicaba en el bobinado primario que era conectado a una fuente de corriente alterna, diseño propio.

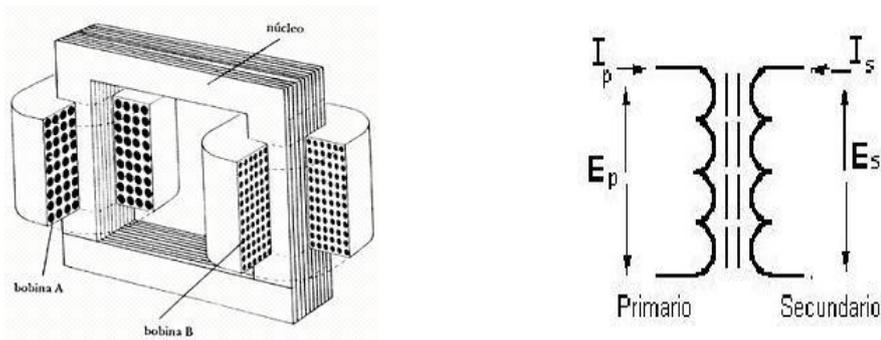
En Hungría, la empresa Ganz destino fondos para la investigación de aparatos lumínicos a base de lámparas incandescentes y arcos, generadores y accesorios a la medida, realizando alrededor de 50 instalaciones en Austria y Hungría en 1878.

No fue sino hasta 1882, que se inventó un dispositivo llamado GENERADOR SECUNDARIO con un núcleo de hierro, en Londres por los científicos Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs; que finalmente vendieron la idea a la compañía estadounidense Westinghouse Electric.

Este dispositivo ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a todos los hogares, industrias, etc. Si no fuera por el transformador tendría que acortarse la distancia que separa a los generadores de electricidad de los consumidores.

Esto marca una nueva era, dado que este dispositivo distribuía la energía eléctrica a todas las casas, industrias, hospitales, etc.; si no fuera por el transformador sería necesario acortar la distancia entre los generadores de electricidad de los usuarios. (Bott, 2014).

Ilustración 1.- Representación esquemática de un transformador



Fuente: (Bott, 2014).

2.2.2 DEFINICIÓN

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. Un transformador según el número de espiras de cada bobina puede ser "elevador o reductor".

En esencia, la forma más óptima de trasladar corriente eléctrica es la alta tensión, hasta que después se disminuye a 220V al llegar a las casas de los consumidores, esto no sería posible sin los transformadores.

El fenómeno de la inducción electromagnética, principio en el que se basan los transformadores eléctricos, en su forma más simple, usa dos bobinas sobre un núcleo de hierro. Tal como es descrito en la gráfica subsiguiente:

La relación entre la fuerza electromotriz inductora (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (E_s), al secundario, la cual es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s). (Guru et al., 2001)

Un transformador aumenta su voltaje, cuando el devanado secundario tiene mayor cantidad de vueltas que el primario; en cambio reduce su voltaje si el devanado secundario tiene un menor número de vueltas que el primario.

Sin importar cuál sea el escenario, la relación siempre se da en función al voltaje en el primario; y son válidos únicamente en transformadores con núcleo de hierro donde el acople es unitario.

Por ejemplo, en un transformador de núcleo de aire que esta sintonizado para resonancia magnética; se considera el factor de resonancia en lugar de la relación de vueltas que viene un el transformador de núcleo de hierro. (Andersson, 2008)

2.2.3 BALANCE (TRANSFORMADOR IDEAL) (Sawa; et al.,1990)

Si tenemos los datos de corriente y voltaje de un dispositivo, se puede averiguar su potencia usando la siguiente fórmula:

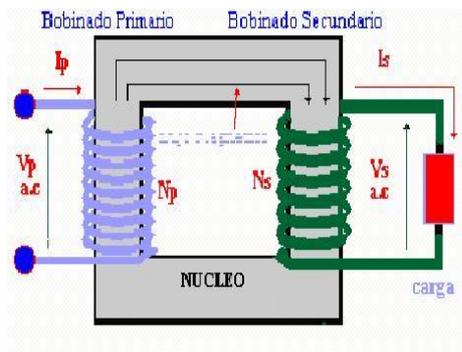


Ilustración 2.- Balance general de transformador Ideal (Sawa; et al.,1990)

Potencia de entrada (Pi) = Potencia de salida (Ps). Pi = Ps

Potencia (P) = Voltaje (V) x corriente (I) P = V x I (watts) (Fallis, 2013).

Así, para conocer la corriente en el secundario cuando tengo la corriente Ip (corriente en el primario), Np (espiras en el primario) y Ns (espiras en el secundario) se utiliza siguiente fórmula:

$$I_s = N_p \times I_p / N_s \text{ o Bién } I_s/I_p = N_p/N_s$$

2.2.4 TIPOS DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS SEGÚN SUS APLICACIONES. (Bott, 2014)

a) Transformador elevador/reductor de tensión

Un transformador con PCB, como refrigerante son empleados por empresas de generación eléctrica en las subestaciones de la red de transporte de energía eléctrica, con el fin de disminuir las pérdidas por efecto Joule. Debido a la resistencia de los conductores, conviene transportar la energía eléctrica a tensiones elevadas, lo que origina la necesidad de reducir nuevamente dichas tensiones para adaptarlas a las de utilización. La mayoría de los dispositivos electrónicos en hogares hacen uso de transformadores reductores conectados a un circuito rectificador de onda completa para producir el nivel de tensión de corriente directa que necesitan. Este es el caso de las fuentes de alimentación de equipos de audio, video y computación.

Es un transformador que emplea PCB como refrigerante por empresas eléctricas en las subestaciones de su red de transporte eléctrica, con el objetivo de reducir las pérdidas de calor por el efecto Joule, que explica, que, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. (Antonio Hermosa Donante, 1999)

b) Transformadores variables

También conocidos como "Variacs", toman una línea en la entrada de tensión fija y proveen de tensión de salida variable, dentro de dos valores.

c) Transformador de aislamiento

Estos suministran aislamiento entre el primario y el secundario con un revestimiento galvánico. Suelen tener una relación 1:1 y se emplean principalmente como medida de seguridad y protección, en equipos que funcionan directamente con tensión de red e incluso

para acoplar señales de sensores lejanos en equipos electrónicos en medicina y donde se requiere tensión flotante.

d) Transformador de alimentación

Esta emplea varias bobinas secundarias y suministran las tensiones necesarias para el funcionamiento del transformador. Regularmente se agrega un termostato que corta su circuito primario cuando el equipo alcanza una temperatura excesiva, mitigando la posibilidad de que se quemé, evitando emisión de humos y gases contaminantes y descartando el riesgo de incendio.

e) Transformador Flyback moderno/Transformador diferencial de variación lineal (LVDT)/Transformador trifásico

Está constituido por tres bobinados en su primario y tres bobinados en su secundario. Tienen forma de estrella (Y) o delta (triángulo (Δ)) y las combinaciones entre ellas: Δ - Δ , Δ -Y, Y- Δ y Y-Y; con una relación 1:1

f) Transformador de pulsos

Este transformador se considera de baja autoinducción por ello es especial, destinado a funcionar en régimen de pulsos. Se usa principalmente para transferir impulsos de mando sobre elementos de control de potencia como SCR (en inglés Silicon Controlled Rectifier). Triacs, etc.

g) Transformador de línea o Flyback

Se emplean principalmente en los TVs para generar la alta tensión y la corriente para las bobinas de deflexión horizontal, se consideran transformadores de pulsos; son económicos y de tamaño reducido, además de poseer una respuesta súper rápida en comparación a otros transformadores, dado que tiene la característica de mantener diversos niveles de potencia de salida.

h) Transformador diferencial de variación lineal

El transformador LVDT por sus siglas en inglés, es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. Este posee tres bobinas situadas de extremo a extremo alrededor de un tubo, y su bobina central es el devanado primario y las externas las secundarias.

i) Transformador con diodo dividido

Este transformador incorpora el diodo rectificador para suministrar la tensión continua de MAT directa al tubo. Se conoce como diodo dividido porque está formado por una serie de diodos diminutos repartidos por el bobinado y conectados en secuencia, de forma que cada uno solo tiene que soportar una tensión inversa sumamente baja.

j) Transformador de impedancia

Esta clase de transformadores se usan para adaptar antenas y líneas de transmisión y sobre todo en los amplificadores de válvulas para adaptar la alta impedancias de los tubos a la baja de los altavoces.

k) Transformador híbrido o bobina híbrida

Es un transformador que funciona como una híbrida. Se usan principalmente en los teléfonos, tarjetas de red, etc.

l) Transformador electrónico

Está constituido por un circuito eléctrico que eleva la frecuencia que alimenta al transformador, de esta forma es viable disminuir sus dimensiones de forma drástica.

También pueden formar parte de circuitos más complejos que mantienen la tensión de salida estable.

m) Transformador de frecuencia variable

Son en esencia, transformadores pequeños de núcleo de hierro que se emplean comúnmente como dispositivos de acoplamiento en circuitos electrónicos para comunicaciones, medidas y de control.

n) Transformadores de medida

Son especialmente para instalar instrumentos, contadores y relés protectores en circuitos de tensión alta o de elevada corriente. Los transformadores de medida aíslan los circuitos de medidas, permitiendo una mejor y mayor normalización en la construcción de instrumentos y contadores.

2.2.5 FUNCIONES ACEITES EN TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

2.2.5.1 REFRIGERACIÓN

El enfriamiento es la función más importante que debe tener un aceite dieléctrico, es decir, como disipa el calor que se genera mientras el transformador funciona. Para cumplir a cabalidad este propósito el aceite debe tener una buena fluidez y adicional una excelente estabilidad térmica y a la oxidación que permita circular sin dejar depósitos.

2.2.5.2 AISLAMIENTO

El aislamiento del aceite radica en prevenir la formación de arcos entre dos conductores de distintas potencias. Para esto debe estar libre de contaminantes a lo largo de su vida útil, sumada a la baja viscosidad y propiedades dieléctricas. (Kubala, 2009)

2.2.5.3 LUBRICACIÓN

El aceite debe proveer una película químicamente inerte y de naturaleza apolar que asegure la protección de las partes metálicas y de los otros materiales presentes en un transformador, pero sin reaccionar con ellos. (Perrier et al ., 2008)

2.3 ACEITES PARA TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

2.3.1 CRONOLOGÍA

En 1892 la compañía Westinghouse Electric Company desarrollo el transformador inmerso en aceite mineral, basado en la patente del inglés Elihu Thomson.

Este dispositivo tenía un tamaño más reducido que el seco, pero aún mejor era más eficiente, las empresas afines centraron sus esfuerzos en determinar las propiedades óptimas del aceite mineral y así producir un líquido de mayor calidad para sus equipos. Es así como en 1899 una refinería de aceite mineral comienza a producirlo volcándose sobre para uso en transformadores.

En la actualidad, un sin número de fluidos son usados como medio aislante en transformadores de potencia y distribución. Las investigaciones recientes van en aumento porque existe más datos, buscando posicionar nuevas sustancias vs. Las tradicionales.

TABLA 5.- USO DE ACEITES PARA TRANSFORMADORES

TRANSFORMADORES	ACEITE MINERAL	SILICONA	ÉSTERES SINTÉTICOS	ÉSTERES NATURALES
Potencia	AU	UN	UC	UC
Distribución	AU	AU	AU	AU
Medida	AU	UN	NU	NU

**FUENTE: CONSEJO INTERNACIONAL DE GRANDES SISTEMAS ELÉCTRICOS (CIGRÉ).
*Experiences in Service with New Insulating Liquids. Paris, 2010***

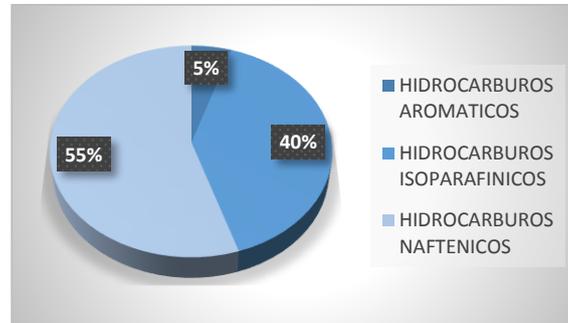
En la TABLA 5 se muestra un resumen de la aplicación de líquidos aislantes en transformadores como se observa, en la actualidad, el aceite mineral es el líquido aislante más usado para su aplicación en transformadores (Patrick McShane, Corkran, Rapp, & Luksich, 2006). Sus características fisicoquímicas, su alto desempeño, sus años de experiencia y Buena relación costo/beneficio lo hacen el predilecto en estos momentos. (Fine et al., 2013).

A partir de un derivado secundario del petróleo, cuya composición predominante son los hidrocarburos naftenicos se obtienen los aceites dieléctricos de origen mineral más comunes.

Las propiedades de un buen aceite de transformador no son propias o no están presentes, en forma exclusiva, en un determinado tipo de hidrocarburo, sino que por el contrario se

encuentran repartidas entre varios (Nafténicos, parafínicos y aromáticos). Una composición típica de un buen aceite dieléctrico responde a las siguientes proporciones:

Ilustración 3.- Composición de hidrocarburos de un aceite dieléctrico mineral típico.



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Sin embargo, las principales desventajas de este aceite son el alto riesgo de un incendio por su bajo punto de inflamación y ante un derrame el impacto que generaría en el medio ambiente. Por ello muchas empresas son obligadas a migrar a nuevas alternativas. En la actualidad debida sobre todo a la conciencia ambiental, se emplean aceites minerales que contemplen estas circunstancias.

Y especialmente en los últimos años los aceites sintéticos han ganado terreno no solo por el fenómeno de conciencia medioambiental sino porque constituye beneficios en lo que respecta a la humedad de celulosa; por eso y más estos fluidos se usan ampliamente en el relleno de los transformadores de distribución.

Posterior los transformadores de inmersión en silicona se presentan como una alternativa a los ya extintos Policlorobifenilos (PCB), que por naturaleza es excelente para resistir la oxidación y se usan en la industria papelera o en general donde se exija seguridad al fuego. La desventaja es que son poco amigables con el medio ambiente y por eso su uso es controversial.

Todos los aceites de transformador contienen moléculas aromáticas con una estructura molecular totalmente distinta de las moléculas parafínicas y nafténicas, tanto química como físicamente. (Perrier, et al ., 2012).

2.3.2 PRINCIPALES PRODUCTORES DE ACEITE DIELECTRICO (PRODUCCIÓN MUNDIAL)

Las estimaciones de la producción total de PCB varían entre 1.2 y 2 millones de toneladas, aunque algunas fuentes con datos más detallados indican una producción mundial total de aproximadamente 1.3 millones de toneladas en el periodo que va entre 1929 y 1993.

TABLA 6.- PRINCIPALES PRODUCTORES MUNDIALES DE ACEITE DIELECTRICO.

Productor	País	Inicio	Interrupción	Cantidad (toneladas)
Bayer AG	Alemania Occidental	1930	1983	159.062
Monsanto	EE.UU	1930	1977	641.246
Prodelec	Francia	1930	1984	134.654
Orgsteklo	URSS (Rusia)	1939	1990	141.800
Kanegafuchi	Japón	1954	1972	56.326
Monsanto	R.U.	1954	1977	66.542
S.A. Cros	España	1955	1984	29.012
Caffaro	Italia	1958	1983	31.092
Chemko	Checoslovaquia	1959	1984	21.482
-Xi'an	China	1960	1979	8.000
Electrochemical Co.	Polonia	1966	1970	1.000
Mitsubishi	Japón	1969	1972	2.461
Geneva Ind.	EE.UU	1971	1973	454
Orgsintez	URSS (Rusia)	1972	1993	32.000
Zaklady Azotowe	Polonia	1974	1977	679
Total		1930	1993	1.325.810

Fuente: Brevik, K. y col., "Un inventario histórico mundial de emisiones de congéneres seleccionados de PCBT"

La investigación sugiere que casi la mitad (48 %), de los PCB se utilizaron para aceite de transformadores; es decir que aproximadamente 636,388.80 toneladas fue la producción de aceite dieléctrico con PCB'S en el mundo.

2.3.3 Productos y Marcas comerciales

Los fluidos dieléctricos con contenidos de PCB's fueron fabricados en diversos países por varios fabricantes, a los que se han dado varios nombres comerciales.

TABLA 7.- PRODUCTOS Y MARCAS RECONOCIDAS

NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE / PAIS	NOMBRE COMERCIAL	FABRICANTE / PAIS
C (h) lophen A50	Bayer, Alemania	Inerteen 300,400,600	Westinghouse,EEUU
Chloresil*	-	Kanechlor	Japón
Chlorextol	Allis-Chalmers, EEUU	Kanechlor	Japón
Chorinol	EEUU	Leromoll	Alemania
Chlorintol	Spraye Electric Cos,	No-Flamol	EEUU
	EEUU		
Choresil	-	Phenoclor	Francia
Chlorextol	Allis-Chalmers, EEUU	Plastivar	Reino Unido
Cloresil	Italia	Pyranol	EEUU
Clorinol	-	Pyroclor	Reino Unido
Delor	-	Saft-Kuhl	EEUU
Diachlor	Sangano Electric	Santothern	Francia, Reino Unido
Diaclor	EEUU	Solvol	Federación Rusa
Diaclor	EEUU	Therminol	Francia, EEUU

Fuente: Convenio de Basilea, Manual de Capacitación

2.3.4 DISTRIBUCIÓN DE ACEITE DIELECTRICO EN ECUADOR

2.3.4.1 PROVEEDORES E IMPORTADORES.

Se ha logrado obtener de la página web del banco central del Ecuador información acerca de las importaciones de aceite dieléctrico desde el año 1990 hasta mayo del 2003.

TABLA 8.- PARTIDA IMPORTACIÓN ACEITE AISLANTE DIELECTRICO

NANDINA	DESCRIPCIÓN	KILOGRAMOS
2710193300	ACEITE PARA AISLAMIENTO DIELECTRICO	112.450

2.3.4.2 NOMBRE DE LOS IMPORTADORES

- Acero comercial ecuatoriano.
- Exxon Mobil.
- Halliburton Latin America.
- Importadores El Rosado.
- INATRA.
- Improel S.A.
- Intermaco
- Lubrisa.
- Lubricantes y tambores del Ecuador
- M.I. Overseas Ltda. Branch
- Minga S.A.
- Repsol YPF
- Samaniego Gaybor Erwin
- Silva Arce Marcela
- Talleres y Servicios TASECA C.A.

2.3.4.3 PAISES A LOS QUE SE COMPRARON LOS ACEITES

TABLA 9.- TOP DE PAÍSES PROVEEDORES DE ACEITE DIELECTRICO PARA ECUADOR

PAIS	CANTIDAD
VENEZUELA	82 560 Kg
COLOMBIA	27 610 kg
ESTADS UNIDOS	2 190 kg
BOLIVIA	60 kg
ITALIA	20 kg
CHILE	10 kg
TOTAL	112.450

Fuentes: Dirección de Planificación del CONELEC y Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano CONELEC 2010-2011

2.3.5 IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR EL USO DE ACEITES DIELÉCTRICOS DE ORIGEN MINERAL

Para entender por qué afectan tanto el uso de estos aceites de origen mineral en el ambiente se deben de tomar en cuenta cuales son las sustancias químicas que las componen.

Partiendo de esta premisa enfocaremos nuestro estudio en el análisis de los COP'S Y PCB'S para determinar qué papel cumplen en la afectación al medio ambiente.

2.3.5.1 ¿Qué son los COP'S?

Los contaminantes orgánicos persistentes son sustancias químicas altamente tóxicas y duraderas por este motivo presentan un gran peligro para el ambiente debido a sus diversas propiedades. (Medellín, Profesor, De, Uaslp, & Mx, n.d.)

2.3.5.2 Características de los COP'S.

Entre las principales características presentes en los COP'S tenemos:

Persistentes:

Son estables aun siendo sometidas a diferentes tipos de degradación lo que genera una permanente existencia de estos en el medio ambiente.

Bioacumulativos:

Tienen tendencia a acumularse en los tejidos de los organismos vivos, lo cual hace que se incorpore en la dieta de la cadena alimenticia de muchos animales. Estas sustancias se trasladan de una generación a otra durante el embarazo y la lactancia.

Se desplazan a largas distancias a través del agua y el aire:

Debido a una de sus propiedades ya estudiada su gran persistencia y su baja presión de vapor pueden dispersarse en grandes distancias y alejarse rápidamente de la fuente de contaminación, lo que hace que se facilite su distribución por el aire y el agua.

2.3.6 CONSECUENCIAS CAUSADAS POR LA EXPOSICIÓN DE ESTAS SUSTANCIAS EN LA SALUD

Se han reunido muchas evidencias y pruebas asociando la exposición humana a los COP'S con:

- cánceres y tumores en múltiples sitios.
- deterioro neuronal incluyendo desordenes de aprendizaje, menor rendimiento y cambios de temperamento.
- alteraciones del sistema inmunológico.
- desórdenes reproductivos y sexuales.
- reducción del período de lactancia en madres que amamantan.
- enfermedades tales como endometriosis (desorden ginecológico, crónico y doloroso en el que los tejidos uterinos crecen fuera del útero).

En las personas, así como en los animales, el daño causado por los COP'S se expresa a menudo no en la población adulta expuesta, sino en las nuevas generaciones. Así los COP'S tienen un efecto transgeneracional, ya que contaminan los alimentos, que al ser ingeridos por el ser humano se concentran en sus tejidos, atraviesan la placenta y se transfieren al feto. Además, son transmitidos por la leche materna a los lactantes. (FAO, 2012)

En este sentido se debe indicar que cada día millones de trabajadores y trabajadoras están expuestos a sustancias químicas en el proceso de producción (industria química) pero también en los sectores donde estas sustancias son utilizadas (agricultura, construcción, industria de la madera y carpintería, textil, etc.). Muchos trabajadores están expuestos a sustancias químicas a nivel de producción, pero también como consumidores, sufriendo envenenamiento, cáncer, problemas respiratorios y alergias cutáneas, entre otras cosas. (Departamento de Salud de New Jersey, 2002)

2.3.7 ENTRE LOS COP'S MÁS CONTAMINANTES TENEMOS:

El Convenio de Estocolmo sobre contaminante orgánico persistente, que entró en vigor el 17 de mayo de 2004, se fija como meta reducir, y con el tiempo eliminar totalmente, los contaminantes orgánicos persistentes, empezando por los más nocivos:

ALDRINA: plaguicida utilizado en la lucha contra los insectos del suelo como las termitas, saltamontes, gusano de la raíz del maíz y otras plagas agrícolas.

CLORDANO: utilizado considerablemente en la lucha contra las termitas y como insecticida de amplio espectro en una serie de cultivos agrícolas.

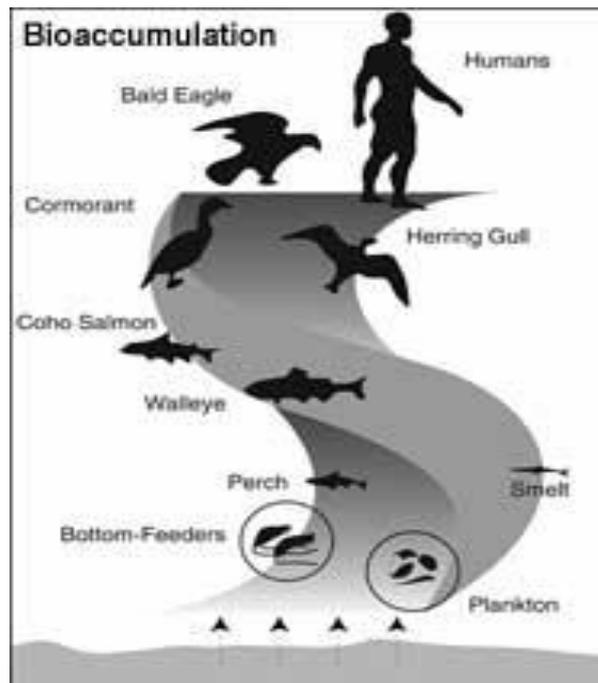
DDT: tal vez el más tristemente célebre de los contaminantes orgánicos persistentes, el DDT, se utilizó ampliamente durante la Segunda Guerra Mundial para proteger a los soldados y civiles del paludismo, el tifus y otras enfermedades propagadas por los insectos. En muchos países se continúa aplicando DDT contra los mosquitos, para luchar contra el paludismo. (Susana García n.d.)

2.3.8 BIFENILOS POLICLORADOS

Los Bifenilos Policlorados (PCBs) son sustancias químicas que pertenecen al grupo de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). Se produjeron comercialmente en grandes cantidades en todo el mundo entre 1930 y 1990. Dada su extraordinaria estabilidad química y resistencia térmica, fueron empleados principalmente como componentes de aparatos eléctricos e hidráulicos y de lubricantes.

En los años 70, debido a la severa preocupación por su toxicidad para los humanos, su supuesta carcinogénesis y su elevada persistencia en el medio ambiente, varios países limitaron su uso. (Sample & Mossman, 1997)

Ilustración 4.- Formas en la que los seres humanos están expuestos a los PCB



Fuente: Wisconsin Dept. of Natural Resources

Los efectos sobre la salud están tradicionalmente clasificados en crónicos o agudos. Con respecto a la exposición al PCB, los efectos agudos son respuestas fisiológicas que ocurren poco después de la exposición. Cloroacné y, posiblemente, neuropatía periférica (efectos adversos en los nervios periféricos asociados con los músculos, la piel, y las articulaciones) han sido asociadas con exposiciones de corta duración a los PCB, aunque, como se mencionó más arriba, los productos de la degradación de los PCB, más que los PCB en sí mismos, han sido los verdaderos culpables.

Se ha informado de dermatitis por contacto en operarios expuestos a los PCB que fueron, sin embargo, también expuestos a compuestos epóxicos, conocidos sensibilizadores de la piel (Leonard T. Flynn, Ph.D., n.d.).

Vías de afectación de los PCBs al ambiente y al ser humano

Las maneras de exponerse a los PCB's son por ingestión, inhalación y absorción cutánea, siendo los efectos los siguientes: Efectos agudos: Son reacciones fisiológicas que ocurren después de la exposición, como por ejemplo:

- Irritación cutánea (cloracné, hiperpigmentación, etc.)
- Irritación ocular por hipersecreción en las glándulas lagrimales
- Dolor de cabeza, mareos y/o fiebre
- Irritación del tracto respiratorio
- Depresión, nerviosismo
- Pérdida de memoria
- Fatiga e impotencia
- Desórdenes del hígado Efectos crónicos: Son reacciones que ocurren después de la exposición prolongada
- Trastornos del sistema inmunológico
- Trastornos hepáticos
- Efectos sobre la reproducción y el desarrollo
- Posible cancerígeno

En el cuerpo humano pueden penetrar a través de la piel, pulmones y tracto gastrointestinal. Después de la absorción los PCB's son llevados a los tejidos grasos a través de la sangre y depositados en órganos como los riñones, hígado, pulmones, cerebro, corazón y piel. En personas expuestas profesionalmente se han encontrado hasta 700 mg/kg almacenado en el tejido adiposo (Humberto, et al ., 2012).

2.3.9 ACEITES DIELECTRICOS CON PRESENCIA DE PCB'S EN EL ECUADOR

La ausencia de una estructura legislativa formal o reglamento para los PCB es una barrera importante para la implementación de un sistema de gestión ambientalmente racional de los PCB.

La Constitución y el Plan Nacional para el Buen Vivir direccionan hacia la necesidad de reducir y eliminar la existencia de contaminantes orgánicos persistentes (COP), pero hay una necesidad de contar con una reglamentación especial independiente para la aplicación de la gestión ambientalmente racional de los PCB acompañado por directrices técnicas y capacitación para el correcto cumplimiento.

En este momento no existe una norma específica para almacenamiento de desechos peligrosos, para ello se tiene que cumplir con los lineamientos establecidos en el Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación por Desechos Peligrosos del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente MAE (Humberto et al., 2012) .

2.3.9.1 Estimación de aceite dieléctrico contaminado con PCBs total en el Ecuador

- Es preciso anotar las siguientes consideraciones para comprender como puede estimarse una cantidad total de aceite en Ecuador:
- Algunas Empresas Eléctricas (E.E's) no informaron de los datos de placa de los transformadores tanto de distribución como de subestaciones.
- No disponen de bases de datos de transformadores de distribución en las que se indique el año de fabricación, la marca, la cantidad de aceite.
- El sector industrial es muy hermético cuando se le solicita información.

- No se tiene información de las centrales térmicas del sector petrolero, y por lo tanto de los transformadores utilizados.
- No se recibió información relacionada con remates que han efectuado las EE's.
- No se tienen registros y datos de transformadores en bodega usados, dañados o quemados.
- Las EE's todavía no tienen responsables en el área de gestión de residuos peligrosos.
- Dependiendo de la marca y la potencia, la cantidad de aceite varía para cada transformador.
- Los transformadores antiguos (1950-1970) tienen más probabilidad de contener PCB's.
- Existen cerca de 150 000 transformadores de distribución colocados en postes y cabinas en todo el Ecuador.

El objetivo es establecer el inventario de transformadores de distribución y potencia tanto operativos como fuera de servicio, existentes a nivel nacional, y luego emitir los lineamientos básicos para que las empresas eléctricas realicen la clasificación y reporte de equipos que se encuentren contaminados con PCB's.

En los siguientes cuadros se presenta un resumen de los transformadores de distribución y potencia operativos reportados por las diferentes empresas eléctricas de distribución y generación, registrados hasta diciembre 2011 (Humberto, et l .,2012).

TABLA 10.- DISTRIBUCIÓN POR PROVINCIA DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA EN ECUADOR

ITEM	EMPRESA DISTRIBUIDORA	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	TRANSFORMADORES DE POTENCIA
1	CNEL-BOLIVAR	647	7
2	CNEL-EL ORO	9.064	24
3	CNEL-ESMERALDAS	5.218	17
4	CNEL-GUAYAS LOS RIOS	34.87	26
5	CNEL-LOS RIOS	5.493	8
6	CNEL-MANABI	20.705	34
7	CNEL-MILAGRO	6.733	14
8	CNEL-STA ELENA	5.335	15
9	CNEL-STO DOMINGO	11.449	15
10	CNEL-SUCUMBOS	3.988	22
11	EE AMBATO	11.238	24
12	EE AZOGUES	1.427	1
13	EE CNTRO SUR	16.002	21
14	EE COTOPAXI	5.132	18
15	EE GALAPAGOS	562	23
16	EE NORTE	13.44	27
17	EE QUITO	33.313	51
18	EE RIOBAMBA	8.531	20
19	EE SUR	12.112	22
20	ELECTICA DE GUAYAQUIL	30.32	47
Total transformadores		230.361	436

Fuentes: Dirección de Planificación del CONELEC y Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano CONELEC 2010-2011

A partir de esta información, y de los resultados obtenidos por las diferentes empresas eléctricas, se considera que alrededor del 20 al 25 % de los equipos eléctricos, estarían contaminados con PCB's.

Los porcentajes de aceites contaminados irán variando, a medida que cada empresa realice el inventario definitivo de PCB's, en aplicación del Manual de Procedimientos para el Manejo de Bifenilos Policlorados (PCB's) en el Sector Eléctrico Ecuatoriano.

De la información proporcionada por el CONELEC, se tienen datos de número de transformadores instalados en el sistema eléctrico y la potencia instalada. Consultando

diferentes fabricantes, se puede llegar a estimar un valor de galones por KVA. A esta cantidad, habrá que adicionar otros valores debido a:

- Transformadores del sector petrolero.
- Transformadores quemados y dañados en bodegas.
- Transformadores que se rematarán.
- Aceite en capacitores.
- Aceite en disyuntores.
- Aceite en el sector de la industria química.

2.3.9.2 Resumen de la cantidad de aceite contaminado

TABLA 11.- ACEITE CONTAMINADO EN ECUADOR DISCRIMINADO POR CONCENTRACIÓN.

TRANSFORMADORES DE S/E				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm	176	75,2%	2124,362	83,1%
50-500	51	21,8%	370,26	14,5%
> 500	7	3,0%	61,248	2,4%
	234	100,0%	2555,87	100,0%
TRANSFORMADORES DISTRIBUCIÓN				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm	66	61,1%	10698	70,7%
50-500	28	25,9%	3046	20,1%
> 500	14	13,0%	1394	9,2%
	108	100,0%	15138	100,0%
DISYUNTORES				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm	7	17,1%	4383	27,3%
50-500	10	24,4%	4400	27,4%
> 500	24	58,5%	7300	45,4%
	41	100,0%	16083	100,0%

Fuentes: Dirección de Planificación del CONELEC y Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano CONELEC 2010-2011

TABLA 12.- TOTAL GENERAL INCLUYENDO TANQUES DE ALMACENAMIENTO

TOTAL TRANSFORMADORES Y DISYUNTORES				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm	249	65,0%	2.139,44	82,7%
50-500	89	23,2%	377,706	14,6%
> 500	45	11,7%	69,942	2,7%
	383	100,0%	2587,09	100,0%
TANQUES				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm			19000	36,0%
50-500			31800	60,2%
> 500			2000	3,8%
	0	0,0%	52800	100,0%
TOTAL GENERAL				
PPM	CANTIDAD	%	Litros	%
0-50 ppm			2158,443	81,8%
50-500			409,506	15,5%
> 500			71,942	2,7%
	0	0,0%	2639,89	100,0%

Fuentes: Dirección de Planificación del CONELEC y Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano CONELEC 2010-2011

2.3.9.3 Resumen de la cantidad de aceite contaminado por tipo de equipo y Determinación de litros/KVA de aceite en transformadores de distribución

TABLA 13.- DETALLE POR EQUIPO DE LAS CANTIDADES DE ACEITE CONTAMINADO

	Litros	%
TRANSF. S/E	431.508	16,9%
TRANSF. DIST	4.440	29,3%
DISYUNTORES	11.700	72,8%
TANQUES	33.800	64,0%
TOTAL	481.448	

Fuente: Inventario Preliminar de PCBs en Ecuador, 2003

TABLA 14.- DETERMINACIÓN DE ACEITE CONTAMINADO EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS (L/KV)

MONOFÁSICOS			
KVA	Gal	Litros	Litros/KVA
3	6	22,71	7,6
5	7	26,5	5,3
10	8	30,28	3,0
15	10	37,85	2,5
25	16	60,56	2,4
38	20	75,7	2,0
50	22	83,27	1,7
75	40	151,4	2,0
100	42	158,97	1,6
			28,1
PROMEDIO			3,12
TRIFÁSICOS			
KVA	Gal	Litros	Litros/KVA
30	18	157	5,2
45	22	137	3,0
75	30	155	2,1
113	35	163	1,4
150	40	213	1,4
200		270	1,4
250		300	1,2
300		331	1,1
500		450	0,9
750		598	0,8
			18,6
PROMEDIO			1,86

Fuente: Inventario Preliminar de PCBs en Ecuador, 2003

TABLA 15.- RESUMEN DE LA CANTIDAD TOTAL DE ACEITE

	POTENCIA INSTALADA (KVA)	PROMEDIO litros/kva	Litros
DISTRIBUCION			15389,551
Monofásicos	3718,936	3,123	11614,9
Trifásicos	2034,02	1,856	3774,651
SUBESTACIONES			4263,911
Hasta 20 MVA	3552,45	0,847	2300,159
Entre 30-180 MVA	6504,16	0,38	1963,752
SECTOR PELTROLERO			153,972
Hasta 20 MVA	237,8	0,847	153,972
QUEMADOS/DAÑADOS			571,604
Monofásicos	120,125	3,123	375,172
Trifásicos	105,85	1,856	196,432
DISYUNTORES			16083
Muestreos			16083
ALMACENADOS EN TANQUES			52800
Muestreos			52800
TOTAL LITROS			20447,921
TOTAL GALONES			5402,357

Fuente: Inventario Preliminar de PCBs en Ecuador, 2003

2.3.9.4 Cantidad estimada de aceite contaminado en el Ecuador

TABLA 16.- ESTIMACIÓN DEL ACEITE CONTAMINADO EN ECUADOR

CANTIDAD DE ACEITE CONTAMINADO			
	LITROS	% CONTAMINADO	LITROS
DISTRIBUCION	15389,551	29,33%	4513,76
Monofásicos	11614,9		
Trifásicos	3774,651		
SUBESTACIONES	4263,911	16,88%	719,75
Hasta 20 MVA	2300,159		
Entre 30-180 MVA	1963,752		
SECTOR PELTROLERO	153,972	16,88%	25,99
Hasta 20 MVA	153,972		
QUEMADOS/DAÑADOS	571,604	29,33%	167,65
Monofásicos	375,172		
Trifásicos	196,432		
DISYUNTORES	16083	72,75%	11700,38
Muestreos	16083		
ALMACENADOS EN TANQUES	52800	64,02%	33802,56
Muestreos	52800		
TOTAL LITROS	20447,92	26,76%	5471,86
TOTAL GALONES	5402,36		1445,67

Fuente: Inventario Preliminar de PCBs en Ecuador, 2003

Como bien señala COALDES en su informe, este es un resultado preliminar porque han existido varias limitaciones para la obtención de las muestras y determinación de concentraciones. Se llega a este resultado sobre la base de 402 muestras tomadas en empresas en donde se tuvo acceso; además hay que considerar que estas empresas son el resultado de una priorización inicial que hace el consultor de las empresas eléctricas del país. Por otro lado se debe considerar las limitaciones en cuanto al acceso a la información para el sector petrolero y el sector industrial por lo que el resultado podría variar.

El inventario realizado sobre BIFENILOS POLICLORADOS PCBs, en el Ecuador tomó una muestra muy pequeña de aguas y suelos de sitios con probabilidad de contaminación, esto en razón de que enfoque del inventario no fue el de determinación de sitios contaminados sino el establecimiento de existencias de aceites con PCBs. En el Análisis de Riesgos a la Salud y el Ambiente por el uso de Contaminantes Orgánicos Persistentes realizado en octubre del 2005 se presenta un mapa en el que básicamente se indica la existencia de potenciales sitios contaminados en todas las provincias, enfatizando sitios en donde por actividades productivas particulares puede haber mayor probabilidad de contaminación como el Oriente en donde existe actividad petrolera.

Adicional a esta información, no se cuenta con datos sobre identificación de sitios contaminados por PCBs. No se conoce sobre volúmenes de desechos contaminados, no existe la certeza de que todas las empresas eléctricas y de distribución hayan identificado todas las existencias de aceites contaminados con PCBs y los tengan identificados y almacenados de manera correcta.

Con respecto a la localización de los transformadores, solo se puede realizar una aproximación en función del inventario preliminar que están realizando las EE's. A

continuación se presenta el mapa del país con la representación de la cobertura del servicio de energía eléctrica de acuerdo al área de concesión. (Humberto, et al .,2012)

2.4 INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE LOS ÉSTERES NATURALES

A inicio de los noventa, empieza el estudio de los esteres naturales como líquidos para transformadores, a causa de la creciente regulación ambiental. Comercializadas principalmente desde 1999 por empresas como Cooper Power System y por Asea Brown Boveri (ABB) un año más tarde (McShane, Luksich, & M.N, 2006)

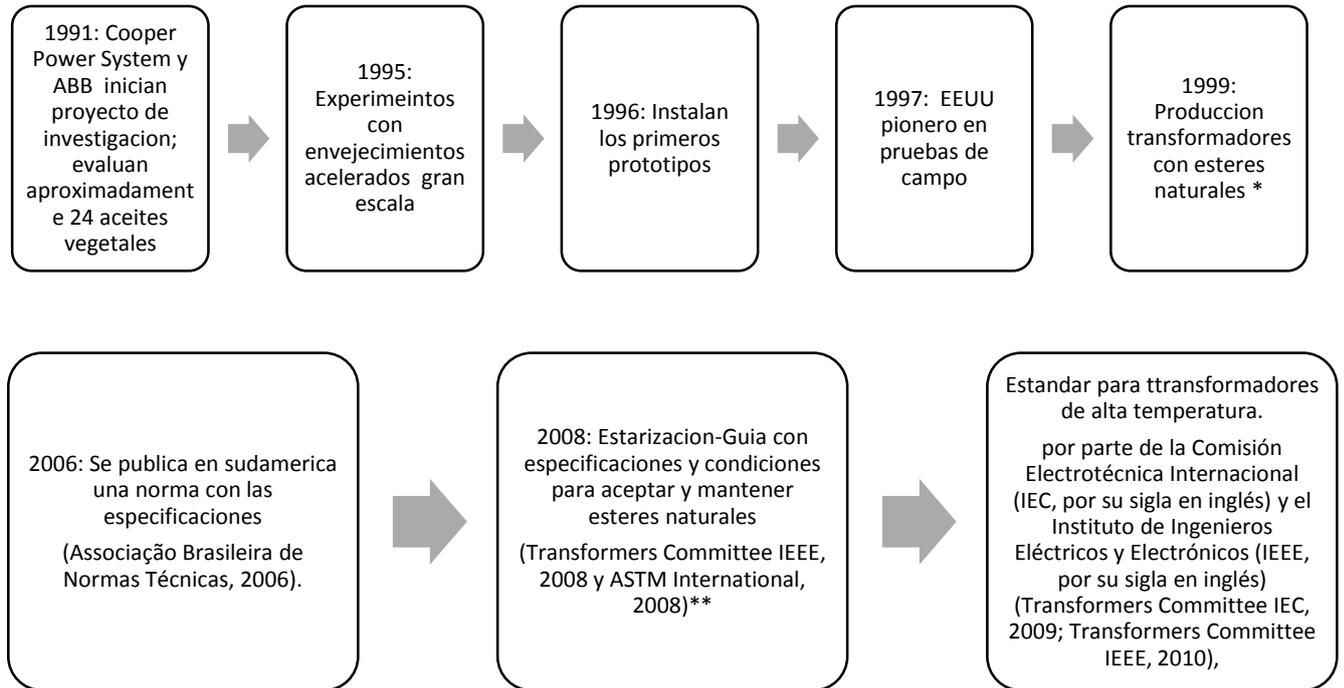
En el 2000 otros aceites a base de semillas entran en el juego, creados como sustitutos para los aceites minerales ((Badent, Kist, & Schwab, 1999)(Goldemberg & Prado, 2003)).

En la actualidad existen varios tipos de aceites biodegradables provenientes de diferentes fabricantes, algunos de ellos son: **Envirotemp FR3, Midel 731, Biotrans 1000, BIOTEMP Coconut Oil, ECO Fluid (Lopes Oliveira, 2005) y BIOVOLT.**

La búsqueda implacable de conciencia ambiental, hizo que tome fuerza la necesidad de líquidos dieléctricos con un balance funcional al rendimiento del transformador. Por esto los esteres naturales, así como los aceites minerales, fueron probados como fluidos dieléctricos, pero inicialmente fueron encontrados como no aptos para uso en equipos eléctricos, sobre todo a los no sellados de forma hermética, debido a su composición química.

Sin embargo, hoy en día, estos aceites descartados en el pasado vuelven al estrellato siendo considerados por las empresas del sector eléctrico como una alternativa de reemplazo inminente a los tradicionales aceites (Stocco, 2009)

Ilustración 5.- Cronología de los aceites naturales para transformadores



***((McShane et al., 2006) (T. V. Oommen et al. 2000)); (Emsley & Stevens, 1994) ** (Stocco, 2009)**

El borrador actual incluye una discusión de las características de envejecimiento de los sistemas aislantes compuestos por ésteres naturales y papel *kraft* mejorados a nivel térmico. La versión final podría dar recomendaciones específicas sobre la temperatura del punto caliente (Kaltseis et al., 2014)

En el mundo se ha iniciado una verdadera revolución en el uso de transformadores inmersos en aceite vegetal (Rozga, 2013) Países como España, Canadá y Estados Unidos son ejemplos de ello (Moore, 2006). En Suramérica, Brasil ha sido uno pionero en adoptar esta nueva tecnología; incluso las electrificadoras han llegado a cambiar lotes considerables de sus transformadores de distribución inmersos en aceite mineral por transformadores con aceite vegetal (Nunes, 2007).

Esto no fue algo simplemente espontáneo, todo gira en torno a múltiples investigaciones desde una óptica productiva (Silva et al. 2012); (Kaltseis et al., 2014)).

Incluso una de estas grandes investigaciones termino con un aceite vegetal cuyo nombre comercial es BIOVOLT (Nunes, 2007).

Fuera de Brasil, fue Colombia el país que comenzó a formar parte de este movimiento de cambio, empresas como SIEMENS apostaron por estas propuestas, presentando el “primer transformador de energía amigable con el medio ambiente” en la feria internacional del sector eléctrico.

Del lado de las electrificadoras, con financiamiento estatal, se emprendió el proyecto de evaluación de la aplicación del aceite dieléctrico vegetal en los transformadores de distribución con el fin de detectar las diversas características de desempeño y vida útil. (Fernando-Navas, et al ., 2012)

2.4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

La diferencia entre el éster natural y los aceites minerales principalmente radica en su origen, el primero es un producto por así decirlo agrícola de fuentes renovables y el otro es derivado del petróleo. (T. V. Oommen, 2002)

Dada su naturaleza, los ésteres naturales pueden ser reciclados y son completamente biodegradables. Respecto a su disposición final, los ésteres naturales pueden convertirse, con relativa facilidad, según (Gomez, Abonia, Cadavid, & Vargas, 2011), en biodiesel (Kaltseis et al., 2014), jabón y aceite endurecido.

Es contundente el hecho de que sea biodegradable, puesto que de esta forma es más fácil manipularlo y evitar grandes desmanes producto de un derrame.

La susceptibilidad a la oxidación de los ésteres naturales ha sido el obstáculo primario para su utilización como un líquido dieléctrico (factor que, por el contrario, favorece las propiedades medioambientales), afirman que el oxígeno es el factor predominante en el deterioro del

aceite. Hoy en día, este problema ha sido solventado con la combinación del fluido con aditivos y a los sistemas de llenado y hermeticidad. (Gomez et al., 2011)

2.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

En general, estas propiedades para cualquier tipo de aceite para transformadores incluyen las características de color, apariencia, viscosidad, punto de fluidez, punto de combustión, punto de inflamación y densidad relativa. Los límites de especificación están definidos en las normatividades de la American Section of the International Association for Testing Materials (Astm, 2010) e IEEE (Roberts, 2001)

TABLA 17.- COMPARACIÓN DEL ACEITE MINERAL Y EL ÉSTER NATURAL

CARACTERIZACIÓN	UNIDADES	TEMP	AC. MINERAL	ÉSTER NATURAL
COLOR	-	-	Incoloro	Amarillo, verde
APARIENCIA	-	-	Claro y limpia	Claro y limpia
VISCOSIDAD	mm ² /s °C	40°C	9,2	33
		100°C	2,3	7,9
PUNTO DE FLUIDEZ	°C	-	-50	-21
PUNTO DE COMBUSTIÓN	°C	-	165	357
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	-	147	328
DENSIDAD	g cm ⁻³	-	0,87	0,92
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	W/m K	-	2,4	3,3

Aplicación del aceite dieléctrico de origen vegetal en transformadores eléctricos (Fernando-Navas et al., 2012)

La TABLA 17. Muestra una comparación entre el aceite mineral y el éster vegetal con valores típicos de estos fluidos. Algunos de estos valores fueron verificados en investigaciones de (Gomez et al., 2011) y se obtuvieron resultados muy similares.

Como podemos observar, existen diferencias marcadas entre los valores de cada fluido; el aspecto predominante que debemos considerar son los altos valores de viscosidad y

conductividad térmica propia de los esteres naturales, este es un punto que pudiera delimitar el comportamiento térmico del transformador.

Dado que, a menos viscosidad, el aceite circula más fácilmente entre las diversas piezas del transformador, lo que favorece la función de refrigeración.

De igual forma una mejor conductividad térmica permite que el calor generado por las piezas del transformador pase más rápido hacia el aceite y de ahí al exterior.

Investigaciones actuales han demostrado que los esteres naturales basados en el diseño convencional para un aceite sintético, están sometidos a esfuerzos eléctricos menores; esto se debe a los valores más cercanos que guardan las constantes dieléctricas de estos materiales (el esfuerzo de tensión en el aislamiento papel-conductor, por lo tanto, se incrementa) (Patrick McShane et al., 2006).

Otras investigaciones en un mismo diseño de transformador eléctrico con dicho diseño convencional (Smith, 2006), muestran elevaciones de temperatura en el aceite y en el promedio del devanado de los transformadores sumergidos en aceite de origen vegetal. Sin embargo, los valores no superan los límites definidos de capacidad de carga de transformadores (Fernando-Navas, et al ., 2012).

Lo anteriormente expuesto denota que los esteres naturales pueden emplearse sin mayores inconvenientes en los transformadores con los diseños iguales a los que usan inmersión de aceites minerales sin exceder límites de temperatura. No obstante, consideraciones especiales y específicas de cada caso han de tenerse presente. Por ejemplo, para transformadores de distribución quizás a veces solo se requiere un refrigerante adicional para mantener el control de la temperatura por debajo de las nominales (Smith, 2006).

Para transformadores de potencia, las características de diseño si se emplea aceite vegetal pueden diferir versus los que usan aceite mineral (Patrick McShane et al., 2006).

Los ésteres naturales han sido certificados por sus altas propiedades de punto de inflamación y combustión, como líquidos menos inflamables para el uso en transformadores según la **Factory Mutual** y **Underwriters Laboratories**, es decir, que ofrecen una mayor seguridad ante los incendios por su elevada resistencia al fuego (T. V. Oommen, 2002).

Factory Mutual es una compañía aseguradora que se presenta a sí misma como proveedor de soluciones de aseguranza “a prueba de fallos” (seamless), cuyo objetivo final es disminuir los riesgos obtenidos por distintas amenazas; entre ellas, los incendios.

Underwriters Laboratories son una compañía internacional de seguridad y certificación de productos. De hecho, esta compañía certifica muchos productos más allá del ámbito de incendios, pudiendo encontrarla en vajillas, aparatos eléctricos, luminarias sustentables, etc.

Estas compañías son autorizadas por los organismos rectores (en el caso de Estados Unidos, este organismo es la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, conocida como OSHA) para realizar estas pruebas

Esto respalda la posibilidad de usar aceites naturales en transformadores ubicados en lugares de alta seguridad al fuego (industrias, escuelas, parques, etc.). Incluso, en algunos casos podrían llegar a omitirse sistemas anti fuego (Stocco, 2009)

2.4.2.1 PUNTO DE FLUIDEZ

Se define como la temperatura a la cual el aceite deja de fluir, mientras se somete a un proceso de enfriamiento progresivo. Este dato sirve para identificar diferentes tipos de aceites aislantes.

Puntos de fluidez aceptables para aceites dieléctricos, evaluado mediante el método ASTM D-97, es de -40°C a -50°C.

2.4.2.2 PUNTO DE INFLAMACIÓN

Se define como la mínima temperatura a la cual el aceite emite una cantidad de vapores que es suficiente para formar una mezcla explosiva con el oxígeno del aire en presencia de una llama.

El punto de inflamación de los aceites dieléctricos se ha fijado con un valor mínimo de 145°C y mientras más alto, será más segura su utilización en transformadores e interruptores de potencia.

2.4.2.3 TENSIÓN INTERFACIAL

Conviene recordar que la solubilidad de un líquido en otro y también la viscosidad de ellos dependen, en buena parte, de su tensión superficial. Así por ejemplo, cuando dos líquidos tienen una tensión superficial muy diferente son insolubles, tal como sucede con el aceite y el agua. Ahora bien, en la interface o superficie de contacto de dos líquidos insolubles, se sucede una interacción molecular que tiende a modificar la tensión superficial de ambos líquidos en la zona de contacto; en este caso se habla de tensión interfacial, la cual casi siempre es referida al agua, como patrón de comparación.

La tensión interfacial mínima aceptada para aceites dieléctricos, evaluada por el método ASTM D-971, es de 40 dinas/cm.

2.4.2.4 PUNTO DE ANILINA

Temperatura a la cual un aceite dieléctrico se disuelve en un volumen igual de anilina. Sirve como parámetro de control de calidad, ya que un aceite dieléctrico con alto contenido de aromáticos disuelve la anilina a menor temperatura.

Temperaturas de disolución entre 78 y 86°C corresponden a un buen dieléctrico. El punto de anilina aceptado para aceites dieléctricos, evaluado mediante el método ASTM D-611, es de 63 a 84°C. (Patrick McShane et al., 2006).

2.4.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Los estudios realizados de tensión de ruptura, factor de disipación y resistividad con mecanismos experimentales en base a estándares, arrojaron como resultado que aceite vegetal cumple con las propiedades establecidas para ser usado como sustituto del aceite mineral (Rajab, Sulaeman, & Sudirham, 2011) y que incluso posee mayor rigidez dieléctrica (previene rupturas del aceite bajo condiciones de esfuerzos eléctricos) y resistividad (habilidad del aceite para oponerse al flujo de corrientes eléctricas, evitando el movimiento de carga eléctrica).

Sin embargo, a pesar de sus bastas propiedades aislantes y refrigerantes en los transformadores de distribución y potencia, el diseño debe ser distinto a los usados comúnmente con los aceites minerales (Patrick McShane et al., 2006).

Siguiendo con ese orden (Kaltseis et al., 2014), propone para los transformadores de distribución diseños aún más compactos. Los primeros iniciaron en el 2006 lo que conduce a que finalmente se empleen alrededor de 2000 transformadores. Hoy en día, se encuentra en marcha en Brasil una nueva fase del proyecto general de uso de aceite vegetal en los transformadores.

Se están elaborando transformadores inmersos en aceites vegetales con pérdidas de vacíos menores y mejores condiciones en el aspecto mecánico. Estos ensayos se ejecutaron a finales del 2011.

En la búsqueda de caracterizar el fenómeno de la ruptura en los líquidos esteres en estudios realizados, se demostró que las rupturas se propagan a mayor velocidad en aceites vegetales (Liu & Wang, 2011).

2.4.3.1 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia mide las pérdidas de corriente que tienen lugar dentro del equipo cuando se encuentra en operación. Estas pérdidas de corriente son debidas a la existencia de compuestos polares en el aceite y a su vez son la causa de los aumentos anormales de temperatura que se suceden en los equipos bajo carga.

El factor de potencia máximo permisible (%), evaluado mediante el método ASTM D-924, es a 25°C 0,05% y a 100°C 0,30%.

2.4.3.2 RIGIDEZ DIELECTRICA

La rigidez dieléctrica de un aceite aislante es el mínimo voltaje en el que un arco eléctrico ocurre entre dos electrodos metálicos. Indica la habilidad del aceite para soportar tensiones eléctricas sin falla. Una baja resistencia dieléctrica indica contaminación con agua, carbón u otra materia extraña. Una alta resistencia dieléctrica es la mejor indicación de que el aceite no contiene contaminantes. (Liu et al ., 2011).

2.4.3.3 ENVEJECIMIENTO Y VIDA ÚTIL

En este ámbito se han realizado muchos estudios a los transformadores sumergidos en aceite vegetal. Desde el punto de vista técnico, paralelo al ambiental, como el valor agregado de estos fluidos, brindan una mayor vida útil para unas mismas condiciones de carga que los transformadores sumergidos en aceite mineral; pero incluso si superan los valores de placa guardan sus facultades.

Por ello es usual emplearla en el relleno de transformadores y como resultado podría ser aumentada en la capacidad de carga base instalada en el transformador sin sacrificar alteraciones (Kaltseis et al., 2014)

Las afirmaciones anteriores se basan en resultados de estudios de envejecimiento acelerado a iguales condiciones de exposición de temperatura y tiempo, en las cuales se concluye que los ésteres naturales reducen las tasas de envejecimiento de la celulosa (Cargill, 2013)

La mayor parte de los estudios que se han realizado fueron pruebas a escala de laboratorio. En escala real son deseables para determinar el envejecimiento y vida útil del transformador bajo sus condiciones normales de operación. (Gomez et al., 2011)

2.5 FUTURAS INVESTIGACIONES

Alrededor del mundo se abren nuevas líneas de investigación como:

- Diseños especiales para transformadores inmersos en aceite
- Estudio de propiedades y ventajas del uso de mezclas de aceites minerales-vegetales
- Estudio de envejecimiento y estimación de vida útil a escala real.
- Diagnóstico de transformadores en servicio (seguimiento y monitoreo).

De cara al futuro queda por construir cada cosa fundamentada en las experiencias propias. Cualquier empresa del sector eléctrico, fabricantes de transformadores y afines deben trabajar incansablemente para nutrir las relaciones teóricas e introducir en las normatividades las consideraciones que se encuentren.

CAPÍTULO III

3.1 ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

El proyecto dio lugar a dos tipos de diseños estructurales:

3.1.1 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Basándonos en la lectura incisiva de investigaciones previas, documentos, diversas fuentes bibliográficas encontradas en la red, así como libros y revistas científicas sobre *Mauritia flexuosa f.l.*

3.1.2 EXPLORACIÓN EXPERIMENTAL

Empleando el conocimiento adquirido durante la carrera, partimos de las operaciones unitarias acordes a nuestra necesidad, para lograr obtener un aceite vegetal idóneo para el uso en transformadores eléctricos.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se basa en una exploración experimental de correlación, en análisis cualitativos y cuantitativos.

3.3 POBLACIÓN

La fruta *Mauritia flexuosa* fue recolectada en la provincia de Sucumbíos, Cantón Lago Agrio.

3.4 MUESTRA

Mesocarpio de la fruta *Mauritia flexuosa f.l*

3.5 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.5.1 MATERIALES

Balón 500ml

Pipeta 100ml

Probeta 1000ml

Vaso de precipitación GRIFFIN 500 ml

Bureta 50 ml	Soporte universal
Extractor Soxhlet	Pinzas
Condensador	Embudo
Frasco de ebullición 1000ml	

3.5.2 EQUIPOS

EQUIPO	MARCA
MOLINO ELÉCTRICO	POWER ELECTRIC (MOTOR)
MALLA TÉRMICA	HEATING MANTLE
ROTA VAPOR	HEIDOLPH
BALANZA DIGITAL	SORTORIUS VP610
ESTUFA	MLW
PRENSA TORNILLO SIN FIN	PITEBA
BOMBA DE VACIO	UL

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

3.5.3 REACTIVOS

- Rubber Solvent
- Glicerina
- Agua

3.6 METODOLOGÍA

La exploración experimental consiste en recopilar la mayor cantidad de información disponible sobre la *Mauritia flexuosa*; situando como base de operaciones el laboratorio de microbiología y alimentos de la facultad de Ingeniería Química en la Universidad de Guayaquil.

3.6.1 MÉTODO DE ANÁLISIS CUALITATIVO

Se determinaran las propiedades dieléctricas que pueda poseer el aceite de pulpa de aguaje de acuerdo a los análisis realizados.

3.7 PROCESOS –DIAGRAMA GENERAL

3.7.1 PROCESO SELECCIÓN MATERIA PRIMA

3.7.1.1 Recepción de materia prima

Recibimos la fruta de aguaje en sacos de 100 lb con un alto de grado de suciedad.

3.7.1.2 Selección, clasificación y lavado

Realizamos una selección menor, separando únicamente a las frutas descompuestas o con daños mayores dado que el fin es obtener aceite vegetal para uso en un transformador eléctrico y no para consumo humano o uso cosmético.

Lavamos la fruta con agua potable mezclada con cloro al 5%.

3.7.2 OPERACIONES UNITARIAS

3.7.2.1 Definición de trituración

Es una operación unitaria empleada para reducir de tamaño un material o sustancia; juega un rol importante en la elaboración de productos con valor agregado.

Fraccionamiento manual de la muestra

La materia prima (Pulpa *Mauritia flexuosa*) es cortada manualmente por secciones logrando que al reducir su tamaño y antes del secado, esta se deshidrate con mayor facilidad.

3.7.2.2 Definición de secado

Secado es la operación unitaria que nos permite eliminar pequeñas cantidades de líquido volátil (agua) contenido en el seno de un sólido húmedo por acción de un gas caliente (aire).

Para el presente estudio, dado que el aceite a extraer no será para consumo humano o cosmético, sino para emplearlo en un transformador eléctrico como aislante y lubricante

sometimos la pulpa de la fruta en mención a secado al sol durante 2.5 días de forma ininterrumpida.

3.7.2.3 Definición de molienda

Es una operación unitaria que transforma físicamente el material sometido con el fin de disminuir el volumen promedio de sus partículas pero sin afectar su naturaleza.

Funcionamiento del molino eléctrico

El material que entra en el molino por una cavidad que converge al tornillo sin fin girado por el motor eléctrico a una velocidad media hasta un disco rotatorio con espacios donde se despliegan estrías cortantes, produciendo así la molienda; este proceso se repite durante aproximadamente 20 minutos dependiendo la muestra y los parámetros establecidos.

3.7.2.4 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO (INEN 17059)

Es la separación de uno o más componentes de una fase sólida, mediante la utilización de uno o más componentes contenidos en una fase líquida, mediante la utilización de una fase líquida o disolvente. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida reciben el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte.

Funcionamiento del Extractor Soxhlet

Cuando se evapora, el disolvente sube hasta el área donde es condensado; aquí, al caer y regresar a la cámara de disolvente, va separando los compuestos hasta que se llega a una concentración deseada. Empleamos como disolvente Rubber solvent para la extracción del aceite vegetal.

3.7.2.5 SEPARACIÓN POR DESTILACIÓN ROTATORIA

Empleamos un proceso de destilación, sobre un eje rotatorio asociado habitualmente al *Baño María*. Donde por medio de la evaporación se separa el disolvente del aceite a presión reducida y conocimiento los puntos de destilación y/o fusión de los analitos para no sobre calentar el sistema.

Funcionamiento del Rotavapor

El analito de interés es colocado en el matraz de evaporación que está semi-sumergido en agua, glicerina o vaselina (según aplique) nosotros emplearemos glicerina, se enciende la plancha calefactora del Baño María y el sistema de rotación del matraz de evaporación. Se reduce la presión atmosférica mediante la aplicación de una bomba de vacío permitiendo que los solventes sean separados del soluto y destilados en el tubo de condensación a baja temperatura y recolectados en el matraz colector.

3.7.2.6 PRENSADO TORNILLO SIN FIN

Paralelo al proceso de extracción sólido líquido, probamos extraer aceite por medio de una prensa continua de impulsión manual marca PITEBA que emplea menos tiempo.

Funcionamiento del prensado continuo (Tornillo sin fin)

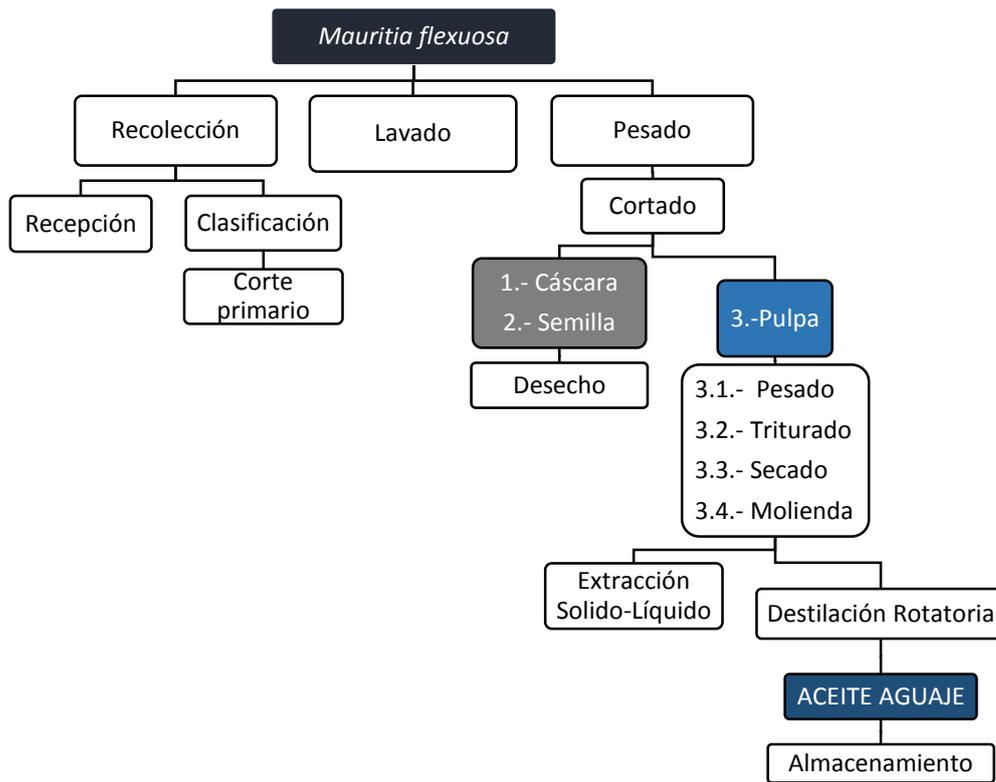
Se realiza a través de ejercer presión sobre la materia prima previamente tratada, la obtención del aceite y la torta residual es obtenida sin utilizar sustancias extractivas, ya que solo es utilizada la fuerza mecánica. Se obtienen aceites de alta calidad. El rendimiento dependerá de la presión ejercida.

3.7.3 ALMACENAMIENTO

Al momento de almacenarlo es necesario considerar que el aceite de *Mauritia flexuosa* es fotosensible, es decir, se degrada con la luz.

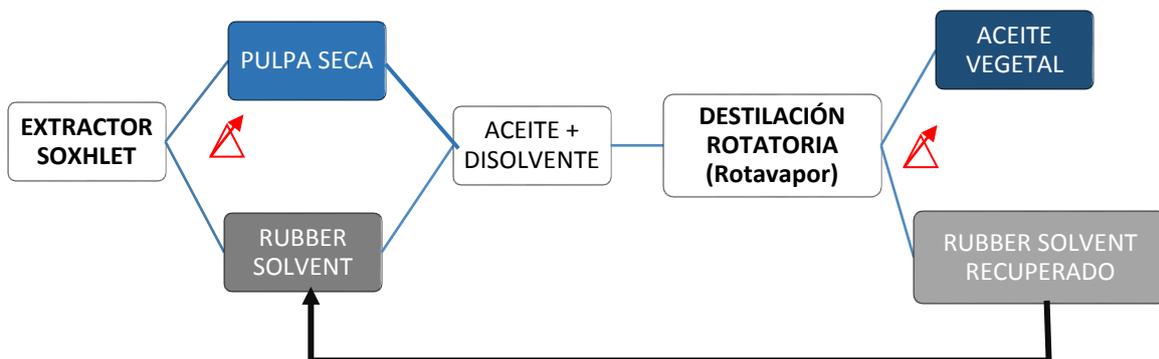
Por ello es necesario almacenarlas en un recipiente de vidrio color ámbar, ya que estos impiden el paso de una gran cantidad de luz, lo que ayuda a que no se degraden con mucha rapidez y adicional en un lugar fresco y oscuro ya que el calor también provoca su descomposición.

Diagrama 1.- PROCESO GENERAL



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Diagrama 2.-EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO Y DESTILACIÓN ROTATORIA



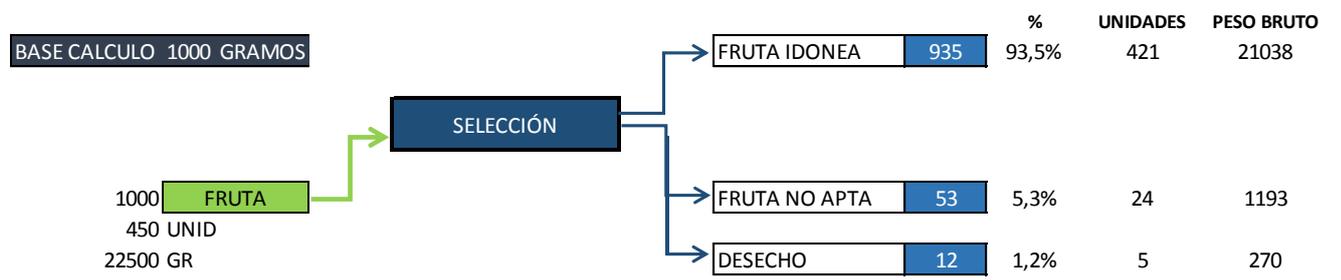
Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

3.8 BALANCE DE MATERIA

3.8.1 PROCESO SELECCIÓN

E=Entrada; S=Salida; P=Pérdida

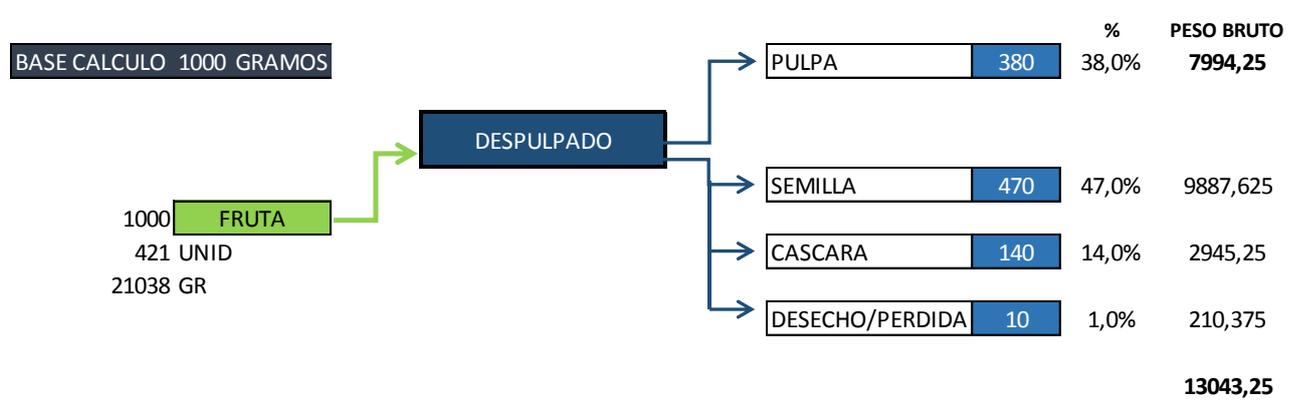
E-P=S



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

22500 g FRUTA RECIBIDA - 1193 g FRUTA NO APTA – 270 g DESECHO = 21038 g FRUTA IDONEA.

3.8.2 PROCESO DESPULPADO

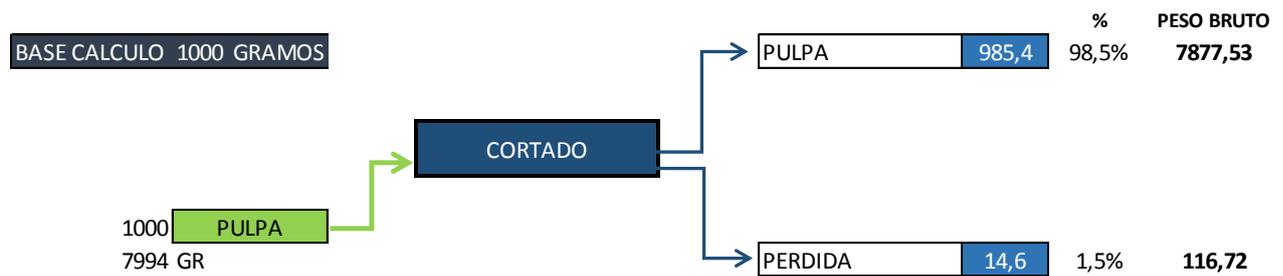


Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

E-P=S

21038 g FRUTA IDONEA - 9887,63 g SEMILLA - 2945,25 g CASCARA - 210,38 g PERDIDA = **7994,25 g PULPA**

3.8.3 PROCESO CORTADO FINAL

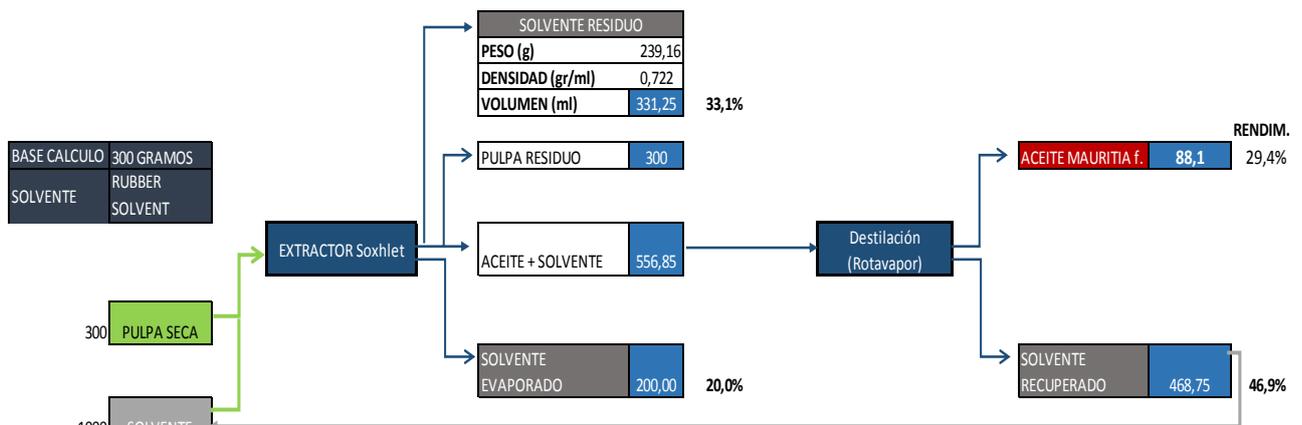


Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

$$E - P = S$$

7994 g PULPA – 116,72 g PERDIDA = 7877,53 g PULPA CORTADA PREVIO SECADO.

3.8.4 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LIQUIDO Y DESTILACIÓN ROTATORIA



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

3.9 PRUEBAS PROPIEDADES DIELECTRICAS

SGS es líder mundial en inspección, verificación, ensayos y certificación. Que goza de la reputación de ser la referencia mundial en cuanto a calidad e integridad y por ello elegimos realizar las pruebas dieléctricas del aceite de la Mauritia flexuosa.

Requerimos 1000 ml de aceite para correr las pruebas dieléctricas.

3.10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS INSTRUMENTOS APLICADOS

Tabla 18.- PORCENTAJE DE HUMEDAD CONTENIDO EN EL MESOCARPIO DE LA FRUTA MAURITIA FLEXUOSA

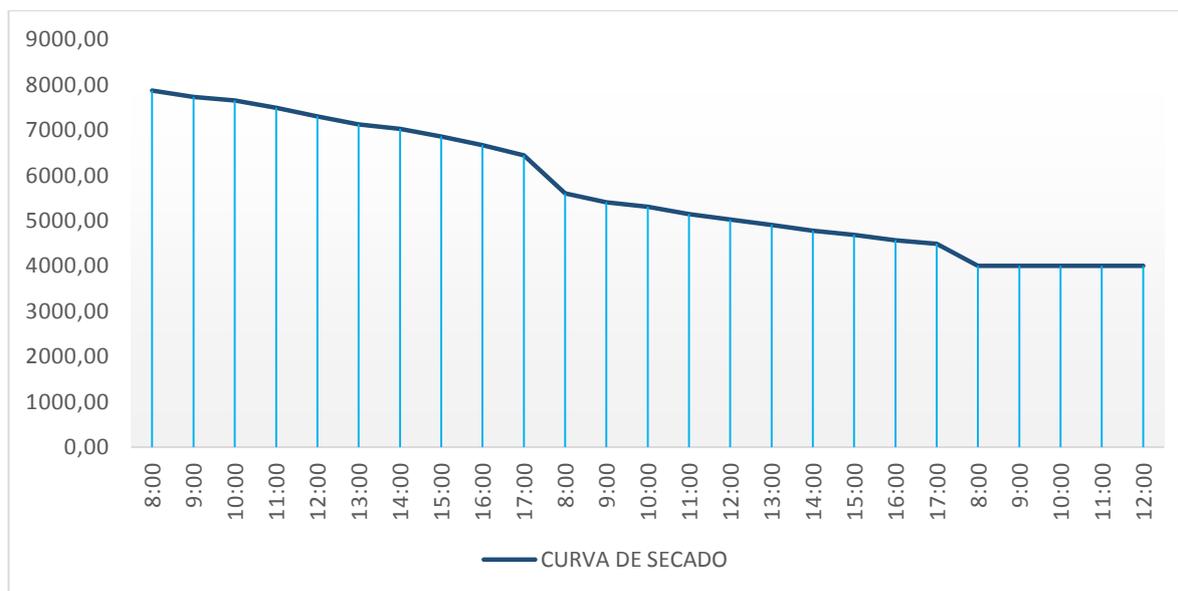
Hora	Peso de la pulpa	Porcentaje contenido
	Mauritia flexuosa (g)	Humedad
8:00	7877,53	100,0%
9:00	7739,6	95,9%
10:00	7660,1	91,7%
11:00	7492,9	87,6%
12:00	7308,9	83,4%
13:00	7126,2	79,3%
14:00	7033,3	75,1%
15:00	6860,2	71,0%
16:00	6670,2	66,8%
17:00	6446,5	62,7%
8:00	5608,4	34,9%
9:00	5411,6	31,4%
10:00	5308,6	27,9%
11:00	5149,3	24,4%
12:00	5030,9	20,8%
13:00	4908,2	17,3%
14:00	4780,6	14,1%
15:00	4685,4	11,1%
16:00	4570,6	8,2%
17:00	4490,2	5,4%
8:00	4005,2	0,0%
9:00	4005,2	0,0%
10:00	4005,2	0,0%
11:00	4005,2	0,0%
12:00	4005,2	0,0%

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

$$\%H = \frac{\text{PESO INICIAL} - \text{PESO FINAL}}{\text{PESO INICIAL}} \times 100$$

$$\frac{7877,53 \text{ gr} - 4005,2 \text{ gr}}{7877,53 \text{ gr}} \times 100 = 49,2\%$$

GRÁFICA 1.- PERDIDA DE HUMEDAD (MESOCARPIO DE LA FRUTA MAURITIA FLEXUOSA)



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

3.10.1 RENDIMIENTOS

METODO	MUESTRA gr	SOLVENTE	VL SOLVENTE ml	ACEITE OBT. ml	RENDIM %	HRS CORRIDAS hrs	CTD CORRIDAS	HRS. REQ. hrs
EXTRACCION SÓLIDO- LÍQUIDO	300,0	RUBBER SOLVENT	800	88,1	29,4%	4,1	12	49,0
PRENSADO MANUAL CONTINUO	100,0	-	-	15	15,0%	1	67	67

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

El método más idóneo en función a su rendimiento es **EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**; se realizaron alrededor de 12 corridas para obtener la cantidad mínima necesaria para las pruebas dieléctricas. Pulpa representa el 38% aproximadamente de nuestra fruta.

El rendimiento lo calculamos dividiendo **ACEITE OBTENIDO/MUESTRA** en g x 100%; no sobre el total del peso de la fruta.

3.11 VALORES PROMEDIO DE MANTECAS/ACEITES ANIMALES Y ACEITES VEGETALES

CARACTERIZACIÓN	NORMA	UNID.	MANTECA/ACEITES ANIMALES* (40°C)		ACEITES VEGETALES (20°C)				
			MANTECA CERDO	GRASA ANIMAL	ALGODÓN	COCO	OLIVA	Mauritia flexuosa	COLZA
INDICE DE YODO	ASTM D4607	cg I2/100g	50	41,5	109	8	85	66,6	99,8
INDICE DE REFRACCIÓN	ASTM D1218	-	1,45965	1,4575	1,471	1,449	1,4692	1,46	1,4699
INDICE SAPONIFICACIÓN	ISO 3657:2013	mg KOH/g	197,5	195	193,5	190	191,5	190	174,24

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Fuente: Collazos (1975) "La composición de los alimentos peruanos". Instituto Nacional de Nutrición. Lima, Perú / ANIAME. Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. (2006). Los aceites vegetales comestibles. Nutrición Salud. México.

3.12 COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS ACEITES PURO DE AGUAJE (MAURITIA FLEXUOSA) Y CANOLA (BRASSICA NAPUS) POR GC-MS.

SATURADOS

ACIDO GRASO	C:D	ESTRUCTURA QUÍMICA	AGUAJE*	CANOLA**
Palmítico	16:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	15,45	9,04
Estearico	18:0	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	1,41	3,37
TOTAL			16,86	12,41

INSATURADOS

ACIDO GRASO	C:D	ESTRUCTURA QUÍMICA	AGUAJE	CANOLA
Oleico	18:1	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	79,33	49,29
Linoleico	18:2	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	1,32	24,71
Linolénico α	18:3	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	1,06	6,18
Araquidónico	20:4	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₃ COOH	0,79	3,47
Eicosapentaenoico	20:5	CH ₃ CH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CHCH ₂ CH=CH(CH ₂) ₃ COOH	0,6	3,14
TOTAL			83,1	86,79

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

*Analytical Laboratories Testing and consulting 2017 IDR 8512-2017

**Chemical Characterization of Canola and Sunflower Oil Deodorizer Distillates (Saba Naz et al. 2014)

3.13 CUADRO COMPARATIVO ENTRE ALGUNOS ACEITES MINERALES, SINTÉTICOS Y VEGETALES

CARACTERIZACIÓN	NORMA ASTM	UNID.	ACEITE MINERAL (GRUPO 1)			ACEITE SINTÉTICO (GRUPO 3)		ACEITE VEGETAL	
			T. C. WF		IP	M	DWC	Mauritia flexuosa	M COLZA
TIPO	-	-	32	68	IP	M 7131	X PMX-561	ESTÁNDAR	M eN
COLOR	ASTM D6045	-	ÁMBAR CLARO	ÁMBAR CLARO	CAFÉ CLARO	AMARILLO CLARO	AMARILLO CLARO	CAFÉ CLARO	AMARILLO CLARO
APARIENCIA	ASTM D1524	-	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES	SIN CONTAMIN. VISIBLES
CONTENIDO DE AGUA	ASTM D1533	ppm	35	35	50	50	30	54	50
DENSIDAD	ASTM D4052	g cm ⁻³	0,875	0,895	0,89	0,92	0,995	0,86	0,97
NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN	ASTM D974	%	3,0%	2,0%	3,0%	0,2%	0,8%	0,5%	0,2%
PUNTO DE FLUIDEZ	ASTM D97	°C	-40	-38	-16	-56	-50	-28	-31
VISCOSIDAD	ASTM D445	mm ² /s °C	29,5	64	27	29	40	33	37
PUNTO DE INFLAMACION	ASTM D92	°C	168	179	140	260	240	330	327
TENSION INTERFACIAL	ASTM D971	dinas/cm	38	40	40	38	40	40	40
PUNTO DE ANILINA	ASTM D611	°C	91	99	90	120	-	-	-
TENSION DE RUPTURA DIELÉCTRICA	ASTM D877	kV/cm	30	32	30	47	50	45	35
FACTOR DE POTENCIA O DISIPACIÓN	ASTM D924	-	< 0,005	<0,003	<0,003	< 0,008	0,005	< 0,003	< 0,003
ENVEJECIMIENTO Y VIDA UTIL (164 hrs)	ASTM D2112	% lodo	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	ASTM D2112	mg KOH/g	0,4	0,6	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Fuente:

CHEVRON CAPELLA ® WF 32, 68 Product Description Transformers Oil 2015

SAH PETROLEUMS LIMITED - IPOL TRANSFORMERS OILS Product Data 2010

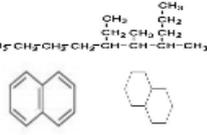
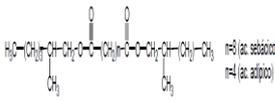
MIDEL® SAFETY INSIDE Midel 1731 Fluido para transformadores basado en éster sintético Paquete de información técnica Junio de 2016

MIDEL® SAFETY INSIDE Midel eN 1204 Fluido para transformadores basado en éster natural Paquete de información técnica Junio de 2016

DOWCORNING MOLIKOTE ® PMX-561 Transformer liquid Polydimethylsiloxane Ref. No. 95-459A-01 2009

MAURITIA FLEXUOSA OIL TRANSFORMER - SGS EC Pruebas dieléctricos 2017

3.13.1 COMPARACIÓN RELATIVA DE CIERTOS ATRIBUTOS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE ACEITES DE TRANSFORMADORES

TIPO	ACEITE MINERAL	ACEITE SINTÉTICO	ACEITE VEGETAL
COMPONENTES PRINCIPALES	Mezcla compleja de hidrocarburos	Un poliol con ácidos carboxílicos naturales o sintéticos enlazados	Cadena central de glicerol con 3 ácidos grasos naturales enlazados
ESTRUCTURA QUÍMICA			
FUENTE	Petróleo	Productos químicos	Extraídos de frutas
BIODEGRADABILIDAD	Muy baja	baja	Muy alta
SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD	Muy sensible	Sensible	Tolerante
ESTABILIDAD OXIDACIÓN	Buena	Excepcional	Relativamente buena

Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Fuente: Jorge Piñeros, IX Jornadas Técnicas, Chile - Abril 2015; Z. H. Shah et al. 2011 - Dielectric Properties of Vegetable Oils

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

Siguiendo los procesos unitarios necesarios obtuvimos con éxito el aceite de la pulpa del aguaje (*Mauritia flexuosa*), esencialmente por el proceso de extracción solido-liquido.

Posterior y una vez examinadas las propiedades físicas, químicas y dieléctricas del aceite en mención concluimos que es un fluido óptimo para ser empleado como lubricante, aislante y refrigerante en transformadores eléctricos.

Sus propiedades dieléctricas analizadas en los laboratorios de SGS Perú con el aval de SGS Ecuador, revelan que tiene una TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA de 45 kv/cm, menor que el promedio de los aceites sintéticos más reconocidos del mercado que oscilan entre 47 y 50 kv/cm. Su FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION es 0.3% dentro del promedio de todos los aceites dieléctricos para transformadores.

Su viscosidad de 33 mm²/s °C menor que la de los demás aceites tradicionales le permiten lubricar más eficientemente el transformador evitando sobre calentamientos de sus partes.

Reduce costo de instalación de sistemas fijos de seguridad contra incendios dado su punto de inflamación de 330 °C. Es súper resistente al fuego.

No es tóxico, altamente biodegradable lo que ahorra fuertes sumas de dinero en manipulación de desechos. A parte la particularidad de que puede ser reciclado y reutilizado al final de su vida útil (ejemplo: producción de biodiesel).

Prolonga la vida de los aislamientos celulósicos gracias a su gran capacidad para retener agua, además existe menor generación de gases durante el estrés eléctrico propio del transformador.

Todo converge en que el aceite de aguaje como fluido dieléctrico es un firme competidor de otros aceites vegetales que ya se comercializan alrededor del mundo a base de colza o canola y es capaz de superar el rendimiento de un aceite mineral y sintético promedio.

4.2 RECOMENDACIONES

Debemos darle la importancia del caso a los equipos de protección personal (EPP) en todo momento, cumpliendo las normas de seguridad integral.

Realizar mayores investigaciones en otros campos de aplicaciones para esta fruta maravillosa, aprovechando sus propiedades nutritivas y su versatilidad.

Para bajar el contenido de agua se recomienda una bi-destilación o una nueva etapa de filtrado; dado que al bajar el porcentaje de esta, aumentaría la rigidez dieléctrica del aceite vegetal orgánico de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y permitirá una mayor eficiencia en la disipación de energía eléctrica.

Que se puedan sembrar grandes áreas de Aguaje, así garantizamos un constante suministro de materia prima para la elaboración de aceite dieléctrico.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

A. Pernia Marino. (2016). Circuitos Magnéticos y Transformadores. *Circuitos Magnéticos Y Transformadores*, (FEBRUARY 2004), 1–39.

Albuquerque, M. L. S., Guedes, I., Alcantara, P., & Moreira, S. G. C. (2003). Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vibrational Spectroscopy*, 33(1–2), 127–131. [https://doi.org/10.1016/S0924-2031\(03\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2031(03)00098-5)

Andersson, G. (2008). Modelling and Analysis of Electric Power Systems. *EEH - Power Systems Laboratory*, (September), 183.

Antonio Hermosa Donante. (1999). *Principios de Electricidad y Electrónica. Principios de electricidad y electronica.*

Astm. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. *Annual Book of ASTM Standards*, 3–6. <https://doi.org/10.1520/C0618>

- Badent, R., Kist, K., & Schwab, A. J. (1999). Rape-Seed Oil- a Substitute for Mineral Oil ? *Conference Publication*, (467), 140–143.
- Bodmer, R. E. (1990). Responses of ungulates to seasonal inundations in the Amazon floodplain. *Journal of Tropical Ecology*, 6(2), 191–201. <https://doi.org/10.1017/S0266467400004314>
- Bonadie, W. A., & Bacon, P. R. (2000). Year-round utilisation of fragmented palm swamp forest by Red-bellied macaws (*Ara manilata*) and Orange-winged parrots (*Amazona amazonica*) in the Nariva Swamp (Trinidad). *Biological Conservation*, 95(1), 1–5. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00018-5)
- Bott, R. (2014). Transformadores. *Igarss 2014*, (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Brightsmith, D., & Bravo, A. (2006). Ecology and management of nesting blue-and-yellow macaws (*Ara ararauna*) in Mauritia palm swamps. *Biodiversity and Conservation*, 15(13), 4271–4287. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-3579-x>
- Calderón, E., Galeano, G., & García, N. (2007). *Libro Rojo de plantas de colombia. Volumen 2. Palmas, frailejones y zamias. Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas: primera parte.*
- Calderón, M. E. P. (2002). Patrones de caída de frutos de *Mauritia flexuosa* l. f. y fauna involucrada en los procesos de remoción de semillas. *Acta Botánica Venezuelica*, 25(2), 119–142.
- Cargill. (2013). Envirotemp FR3 - Natural Ester Fluid. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- de Oliveira, D. M., Siqueira, E. P., Nunes, Y. R. F., & Cota, B. B. (2013). Flavonoids from leaves of *Mauritia flexuosa*. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 23(4), 614–620. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000061>
- Departamento de Salud de New Jersey. (2002). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. *Hoja Informativa Sobre Substancias Peligrosas*, 6.

- Dransfield, J., Uhl, N., Asmussen, C., Baker, W., Harley, M., Lewis, C., & et; al. (2008). Genera Palmarum. The Evolution and Classification of Palms. *Kew Publishing*, 2, 744.
- Emsley, A. M., & Stevens, G. C. (1994). Review of chemical indicators of degradation of cellulosic electrical paper insulation in oil-filled transformers. *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings* -, 141(5), 324–334. <https://doi.org/10.1049/ip-smt:19949957>
- Endress, B. A., Horn, C. M., & Gilmore, M. P. (2013). *Mauritia flexuosa* palm swamps: Composition, structure and implications for conservation and management. *Forest Ecology and Management*, 302, 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051>
- Espinosa, C. I., De La Cruz, M., Luzuriaga, L., & Escudero, A. (2012). Bosques tropicales secos de la región Pacífico Ecuatorial : diversidad , estructura , funcionamiento e implicaciones para la conservación. *Ecosistemas*, 21(1–2), 167–179. <https://doi.org/10.7818/re.2014.21-1-2.00>
- Fallis, A. . (2013). Transformadores de potencia, de medida y de protección. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO. (2012). *Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA): Manual de uso y aplicaciones*. Roma: FAO.
- Feild, T. S., & Arens, N. C. (2007). The ecophysiology of early angiosperms. *Plant, Cell and Environment*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01625.x>
- Fernando-Navas, D., Cadavid-Ramírez, H., & Echeverry-Ibarra, D. F. (2012). Aplicación del aceite dieléctrico de origen vegetal en transformadores eléctricos. *Ingeniería Y Universidad*. <https://doi.org/10.1144/2490>
- Fine, F., Abert Vian, M., Fabiano Tixier, A.-S., Carre, P., Pages, X., & Chermat, F. (2013). Les agrosolvants pour l'extraction des huiles végétales issues de graines oléagineuses. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, 20(5), 1–6.
- Goldemberg, J., & Prado, L. T. S. (2003). Reforma e crise do setor elétrico no período FHC. *Tempo Social*, 15(2), 1–17. <https://doi.org/10.1590/S0103-20702003000200009>

- Gomez, N. A., Abonia, R., Cadavid, H., & Vargas, I. H. (2011). Chemical and spectroscopic characterization of a vegetable oil used as dielectric coolant in distribution transformers. In *Journal of the Brazilian Chemical Society* (Vol. 22, pp. 2292–2303). <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011001200009>
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric Machinery and Transformers*. Oxford University Press, 741. <https://doi.org/10.1049/ep.1965.0114>
- Humberto, C., Cáceres, M., & Lorenz, S. (2012). * Documento generado por Quipux 1/2.
- Kaltseis, R., Keplinger, C., Adrian Koh, S. J., Baumgartner, R., Goh, Y. F., Ng, W. H., ... Bauer, S. (2014). Natural rubber for sustainable high-power electrical energy generation. *RSC Adv.*, 4(53), 27905–27913. <https://doi.org/10.1039/C4RA03090G>
- Kubala, T. (2009). *Electricidad 1 dispositivos, circuitos y materiales*. Buenos Aires Cengage 2009, novena edi.
- Lasso, C. A. ., Rial, A., & Gonzalez, V. (2013). *Morichales y cananguchales de la Orinoquía y la Amazonía: Colombia - Venezuela. Serie editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*.
- Leonard T. Flynn, Ph.D., M. B. A. (n.d.). PCB: Hechos Científicos.
- Liu, Q., & Wang, Z. D. (2011). Streamer characteristic and breakdown in synthetic and natural ester transformer liquids with pressboard interface under lightning impulse voltage. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(6), 1908–1917. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2011.6118629>
- Manzi, M., & Coomes, O. T. (2009). Managing Amazonian palms for community use: A case of aguaje palm (*Mauritia flexuosa*) in Peru. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.038>
- McShane, C. P., Luksich, J., & M.N, M. (2006). Field Experience with Natural Ester (Vegetable Oil) Dielectric Fluid - The First Decade. In *IV Workspot - CE A2 Transformador* (Vol. 18, pp. 1–10).

- Mesa, L., & Galeano, G. (2013). USOS DE LAS PALMAS EN LA AMAZONIA COLOMBIANA. *Caldasia*, 35(2), 351–369.
- Moore, S. P. (2006). Some Considerations for New and Retrofil Applications of Natural Ester Dielectric Fluids in Medium and Large Power Transformers. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES*, 25–29. <https://doi.org/10.1109/TDC.2006.1668447>
- Nunes, S. P. (2007). Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil. *DESER – Boletim Eletrônico*, 159, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Oommen, T. V., Claiborne, C. C., Walsh, E. J., & Baker, J. P. (2000). A new vegetable oil based transformer fluid: development and verification. *2000 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (Cat. No.00CH37132)*, 1, 308–312. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2000.885288>
- Oommen, T. V. (2002). Vegetable oils for liquid-filled transformers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 18(1), 6–11. <https://doi.org/10.1109/57.981322>
- Patrick McShane, C., Corkran, J., Rapp, K., & Luksich, J. (2006). Natural ester dielectric fluid development. In *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference* (pp. 18–22). <https://doi.org/10.1109/TDC.2006.1668445>
- Perrier, C., & Beroual, A. (2008). Experimental investigations on mineral and ester oils for power transformers. In *Conference Record of IEEE International Symposium on Electrical Insulation* (pp. 178–181). <https://doi.org/10.1109/ELINSL.2008.4570305>
- Perrier, C., Marugan, M., & Beroual, A. (2012). DGA comparison between ester and mineral oils. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(5), 1609–1614. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6311507>
- Rajab, A., Sulaeman, A., & Sudirham, S. (2011). A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid under Temperature Variation. *ITB J. Eng.*

Sci, 43(3), 191–208. <https://doi.org/10.5614/itbj.eng.sci.2011.43.3.3>

Rengifo Salgado Cesar Miguel; ; Vargas Arana, Gabriel, E. L. ; F. V. (2010). Búsqueda y evaluación de aceites esenciales en especies amazónicas. *Folia Amazónica*, 19, 29–32.

Roberts, B. P. (2001). Energy storage applications for large scale power protection systems BT - Transmission and Distribution Conference and Exposition IEEE/PES 2001, October 28, 2001 - November 2, 2001. In *BT - Transmission and Distribution Conference and Exposition IEEE/PES 2001, October 28, 2001 - November 2, 2001* (Vol. 2, pp. 1157–1160). <https://doi.org/10.1109/TDC.2001.971422>

Rondón, J. (2004). Especies vegetales de uso en la cestería por la etnia piaroa del estado Amazonas, Venezuela. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 11(2), 133–140.

Rozga, P. (2013). Properties of new environmentally friendly biodegradable insulating fluids for power transformers. *Annual International Interdisciplinary Conference*, 24–26. <https://doi.org/10.1109/T-LA.2007.4444533>

Sample, D. W., & Mossman, M. J. (1997). Managing habitat for grassland birds, a guide for Wisconsin. *Wisconsin Department of Natural Resources, Madison*, 154.

Sawa, T., Kurosawa, K., Kaminishi, T., & Yokota, T. (1990). Development of optical instrument transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 5(2), 884–891. <https://doi.org/10.1109/61.53098>

Silva, C. R., Carvalho, M. W. N. C., Conrado, L. D. S., Fook, M. V. L., & Leite, K. P. S. (2012). Caracterização físico-química e dielétrica de óleos biodegradáveis para transformadores elétricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 16(2), 229–234. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200015>

Smith, S. D. (2006). Design and test experience with natural ester fluid for power transformers. In *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference* (pp. 35–36). <https://doi.org/10.1109/TDC.2006.1668449>

- Stocco, M. B. C. (2009). Avaliação do potencial de aplicação de óleos vegetais como fluidos isolantes em transformadores de distribuição da rede elétrica. *Annals of Physics*, 54, 129.
- Storti, E. F. (1993). Biología floral de *Mauritia flexuosa* Lin. Fil, na região de Manaus, AM, Brasil. *Acta Amazonica*, 23, 371–381.
- Susana, D., & García, I. (n.d.). La contaminación ambiental con Bifenilos Policlorados y su impacto en salud pública.
- Trujillo-Gonzalez, J. M., Santana-Castañeda, E., & Torres Mora, M. a. (2011). La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estratégico. *Revista ORINOQUIA - Universidad de Los Llanos*, 15(1), 62–70.
- Urrego Giraldo, L. E. (1987). Estudio preliminar de la fenología de la canangucha (*Mauritia flexuosa* Lf). *Colombia Amazónica*, 2(2), 57–81.
- Vasquez, J., Delgado, C., Couturier, G., Mejia, K., Freitas, L., & Castillo, D. (2008). Pest insects of the palm tree *Mauritia flexuosa* L.f., dwarf form, in Peruvian Amazonia. *Fruits*, 63(4), 227–238. <https://doi.org/10.1051/fruits>

ANEXOS

I. ANALISIS PROPIEDADES DIELECTRICAS ACEITE Mauritia flexuosa F.I



FECHA DE IMPRESIÓN: 12-05-2017

Informe de Ensayo: AT1700056.001
Análisis en muestras de aceites lubricantes.

IDENTIFICACIÓN CLIENTE/MUESTRA			
Nombre:	JONATAN KELVIN RODRÍGUEZ CÁRDENAS	SGS orden No.	-
Cliente orden No.	663779-1		
IDENTIFICACIÓN MUESTRA			
Nombre Muestra	ACEITE DIELECTRICO PULPA MAURITIA FLEXUOSA	Código Muestra:	2017-05051181900
Cantidad	1000 ml	Fecha de elaboración:	10 de mayo 2017
Referencia:	OIL	Fecha de recepción:	12 de mayo 2017
Presentación de la muestra	Botella vidrio color ámbar	ORIGEN ID	158580198

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDAD
APARENCIA	Visual	Turbio	-
ASPECTO	ASTM D1524	Leves sedimentos y agua libre	-
COLOR ASTM	ASTM D4045	1,5	-
TENSION INTERFACIAL	ASTM D971	40	dyn/cm
TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA	ASTM D877	45	kV/cm
FACTOR DE POTENCIA/DISIPACIÓN	ASTM D924	< 0,003	-
NUMERO DE ACIDO	ASTM D974	0,50%	%
CONTENIDO DE AGUA	ASTM D1533	54	ppm
PUNTO DE RUDEZ	ASTM D97	-28	°C
PUNTO DE INFLAMACION	ASTM D92	330	°C
DENSIDAD	ASTM D4052	0,915	g/cm ³
VISCOSIDAD	ASTM D445	33	mm ² /s °C

FIRMA AUTORIZADA


YSABEL C. BARÓN PINTO
Supervisora del Laboratorio OGC
CIP 87752

1205201713430000019733

Página 1/1

OGC-ES_REPORT_NLOGO-2012-05-05-V48

Este documento es emitido por la compañía bajo sus condiciones generales de servicio, que pueden encontrarse en la página <http://sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del Informe de ensayo solo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como un certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Última revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 (+51-1) 517 1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

II. RECOLECCION FRUTA MAURITIA FLEXUOSA

Ilustración 6.- Palma Aguaje (*Mauritia flexuosa*) y la disposición de sus frutas



Fuente: <https://hiveminer.com/Tags/mauritiamauritiaflexuosa>

Ilustración 7.- Fruta Aguaje madura



Fuente: <http://snoil.co/Essential%20Oils.html>

Ilustración 8.- Distribución geográfica de los asentamientos de *Mauritia flexuosa*



Fuente: <http://conociendoalaguaje.blogspot.com>

Ilustración 9.- Aspecto externo fruta Aguaje *Mauritia Flexuosa*



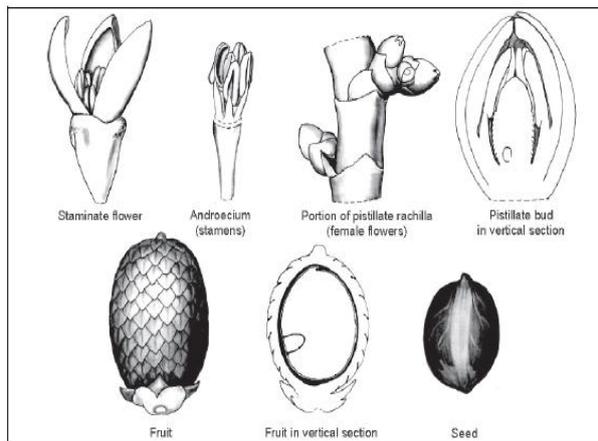
Fuente: www.museum.toulouse.fr

Ilustración 10.- Fruta expuesta-Mesocarpio *Mauritia flexuosa*



Fuente: <https://www.plantas-medicinales.es>

Ilustración 11.- Detalle de la estructura de la flor y la fruta de la *Mauritia flexuosa*



Fuente: Review *Mauritia flexuosa* (Areceaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Perú

Ilustración 12.- Productos a base de Aguaje A) Aceite B) Capsulas C) Polvo nutricional



Fuente: <http://www.inkanat.com>

Ilustración 13.- Vendedora ambulante de jugo de Aguaje, conocida como Aguajera



Fuente: Review *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Perú

Ilustración 14.- Helado de paila de *Mauritia flexuosa* (Aguaje)



Fuente: Review *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Perú

Ilustración 15.- Bolsas de pasta de Aguaje- Aguajina



Fuente: Review *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Perú

Ilustración 16.- Vendedor ambulante de Aguaje



Fuente: <http://pakobardales.blogspot.com/2006>

Ilustración 17.- Bolos fríos de jugo de Mauritia flexuosa-Aguaje



Fuente: Review *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Perú

III. SELECCIÓN, CLASIFICACIÓN Y CORTADO PRIMARIO

Ilustración 18.- Selección, separación y corte de la pulpa de Aguaje



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

IV. METODO EXTRACCIÓN SÓLIDO-LIQUIDO

Ilustración 19.- Pesado de la muestra Pulpa seca/ Muestra en el extractor soxhlet



Ilustración 20.- Medición de solvente Rubber Solvent/ Sistema de extracción sol.-liq.



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Ilustración 21.- Aceite Mauritia flexuosa mezclado con el solvente



V. DESTILACIÓN ROTATORIA (ROTAVAPOR)

Ilustración 22.- Rotavapor y Bomba de vacío puesta en marcha



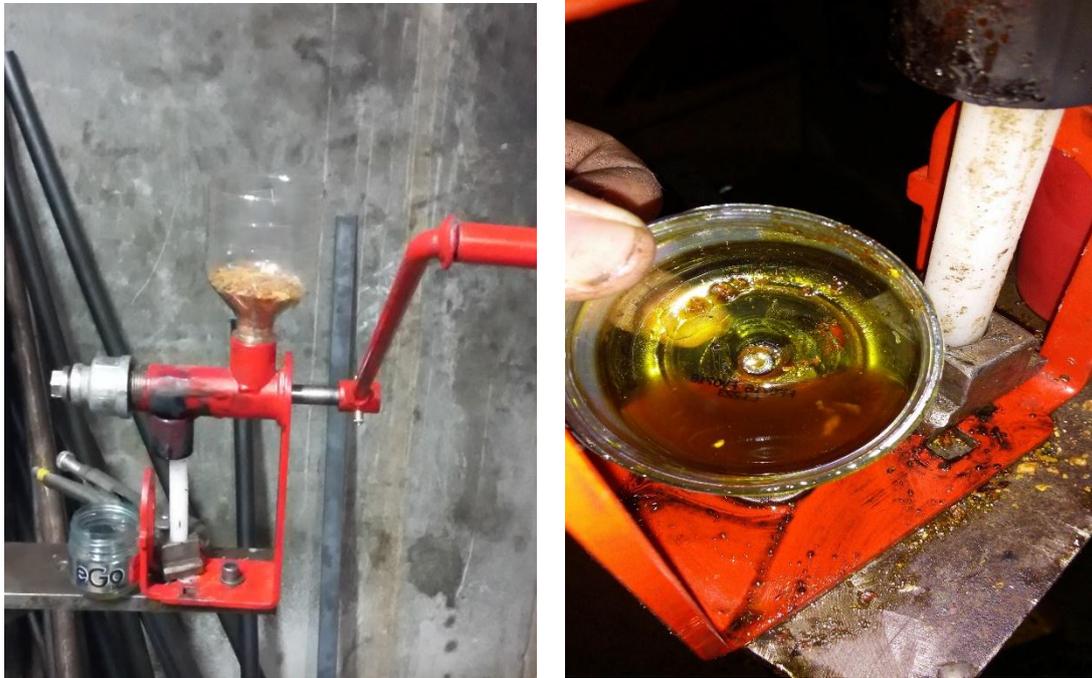
Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017

Ilustración 23.- Aceite de aguaje después del proceso de destilación rotatoria



VI. PRENSA CONTINUA MANUAL – EQUIPO PITEBA

Ilustración 24.- Sistema de prensado manual continuo/ Aceite de aguaje por prensado



Elaborado por: Jonatan Rodríguez C.; Dennys Silva M.; 2017