UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

ESCUELA DE POSGRADO

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, COMPOSICIÓN QUIMICA Y METALES PESADOS DEL ESCOBAJO Y FIBRA DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.), EN EL DISTRITO DE NESHUYA, UCAYALI, PERÚ.

Tesis para optar el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS EN MEDIO AMBIENTE, GESTION SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

ANGEL KELSEN ARBAIZA PEÑA

Pucallpa, Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
ESCUELA DE POSGRADO

ANEXO Nº 4

ACTA DE DEFENSA DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OBTENCION DEL GRADO DE MAESTRO O MAESTRO EN CIENCIAS

En la Sala de Grados de la Universidad Nacional de Ucayali siendo las 10 horas, del día 20 de AGOSTO, ante el **Jurado** de Tesis o trabajo de investigación constituido por :

Dr. EDGAR JUAN DIAZ ZUÑIGA ..... Presidente

Dr JORGE ARTURO MORI VÁSQUEZ ..... Secretario

MSC GIRALDO ALMEIDA VILLANUEVA ..... Vocal

El aspirante al **GRADO DE MAESTRO O MAESTRO EN CIENCIAS** en .....

Mención:
MEDIO AMBIENTE, GESTION SOSTENIBLE Y RESPONSABILIDAD SOCIAL

Don(ña) ANGEL KELSEN ARBAIZA PEÑA ,

Procedió al acto de Defensa:

a. Con la exposición de la tesis o trabajo de investigación, titulada:
"DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, COMPOSICION QUÍMICA Y METALES PESADOS DEL ESCOBAJO Y FIBRA DE PALMA ACEITERA (Elaeis Guineensis Jacq.) EN EL DISTRITO DE NESHUYA, UCAYALI, PERÚ"

b. Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Maestro, teniendo presente los criterios siguientes:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
ESCUELA DE POSGRADO

a) Presentación personal
b) Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y/o solución a un problema social y Recomendaciones
c) Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente
d) Dicción y dominio de escenario

Así mismo, el Jurado plantea a la tesis o trabajo de investigación **las observaciones** siguientes:

NINGUNA

Obteniendo en consecuencia el Maestrista la **Nota** de DIECIOCHO (18)

Equivalente a APROBADO, por lo que se recomienda .....

(aprobado ó desaprobado)

Los miembros del Jurado, firman el presente **ACTA** en señal de conformidad, en Pucallpa, siendo las 11:37 horas del 20 de AGOSTO del 20 22

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº V/0214-2022

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

"DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y METALES PESADOS DEL ESCOBAJO Y FIBRA DE PALMA ACEITERA (Elaeis guineensis Jacq.), EN EL DISTRITO DE NESHUYA, UCAYALI, PERÚ".

Cuyos Autor(es)	:	**ARBAIZA PEÑA, ANGEL KELSEN**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	ING. AMBIENTAL.
Asesor(a)	:	DR. PANDURO PISCO, GROBER

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 4%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y CODIFICA la presente constancia

FECHA 25/04/2022

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON
Dirección de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, Angel Kelsen Arbaiza Peña

Autor(a) de la TESIS de maestría titulada:

Determinación de las propiedades mecánicas, composición química y metales pesados del escobajo y Fibra de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en el distrito de Neshuya, Ucayali, Perú

Sustentada el año: 2022

Con la asesoría de: Dr. Grober Penadero Pisco

En la Escuela de Posgrado, Maestría: Ciencias

Mención: Medio Ambiente, Gestión Sostenible y Responsabilidad Social

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] Significa que se publicará en el repositorio institucional solo La caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida **marcar si su tesis o documento presenta material patentable**, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL [X] Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 05 / 10 / 2022

Email: arbaipe27@gmail.com
Teléfono: 961965540

Firma:
DNI: 45015938

DEDICATORIA

A mi hija Irina Briseida Arbaiza Torres, quien es el motor y motivo de mi superación personal cada día.

A mi Sra. Madre, Esperanza Peña Carhuapoma, por darme la vida y ser un pilar fundamental en mi vida, por su amor y aliento.

A todos los hombres y mujeres dedicados a la ciencia, que con su entrega y compromiso generan nuevos conocimientos para hacer de este mundo un lugar mejor para vivir.

AGRADECIMIENTO

A CONCYTEC-FONDECYT que mediante su Proyecto Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación Tecnológica – SINACYT que mediante Contrato N° 99-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU, de adjudicación de fondos de subproyectos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, proyecto de investigación multidisciplinario; ha financiado el proyecto “Aprovechamiento de los Residuos Sólidos de la Industria de Aceite de Palma para Fabricación de Envases Biodegradables para Uso Ornamental y Agroforestal”, ejecutado por la Universidad Nacional de Ucayali-UNU. Igualmente, para las empresas Industrias Oleaginosas Monte Alegre INDOLMASA y Negocios Amazónicos Sustentables E.I.R.L NEGASUS; colaboradoras de la UNU.

A la escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Ucayali, por brindar la oportunidad de escalar un grado académico más, fortaleciendo las capacidades de los profesionales de la región de Ucayali.

Al Dr. Grober Panduro Pisco, por su apoyo antes, durante y después de la ejecución de la investigación, por sus aportes y enseñanzas que han fortalecido el desarrollo del presente estudio.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Amazonía peruana que presenta una superficie de 74,739 ha de palma aceitera, el objetivo fue determinar las propiedades mecánicas y composición química (macronutrientes) y metales pesados de la fibra del escobajo y fibra del fruto de la palma aceitera de la Amazonía peruana. La población la conformó 19,39 t día^{-1} de escobajo y 12,48 t día^{-1} de fibra del fruto extraídas de la industria INDOLMA S.A, distrito de Neshuya - Perú. Los análisis se realizaron mediante la Maquina Universal para determinar sus propiedades mecánicas, la Espectrofotometría UV-VIS para el P y K; método de Kjeldahl para el N; para la humedad se utilizó la balanza de humedad – PCE Ibérica y el potenciómetro para la medición de pH y el Espectro fotogrametría de Adsorción atómica (EAA) para los metales pesados Cd, Pb, Cr, Ni, As y Hg. Las propiedades mecánicas de las fibras del escobajo fueron capacidad max de 2.55 kg; esfuerzo máximo de 115.6 MPa y un Módulo de elasticidad de 731 Pa; para la fibra del fruto fue; capacidad max de 0.46 kg; esfuerzo máximo de 484.9 MPa y un Módulo de elasticidad de 535.3 Pa. En cuanto a los niveles de N, P, K, se encontró que, en la fibra del escobajo fue, N; 1.39%, P: 3.55% y K: 4.45%; en la fibra del fruto fue, N, 1.19%, P 3.30% y K con 3.12%. La concentración de metales pesados fueron lo siguiente, para la fibra del escobajo fue, Cd, 601 ppm; Pb 14,8 ppm, Hg, <0,001 ppm; Ni, 34,6 ppm; As, 11.86 ppm y Cr, 5.80 ppm y para la fibra del fruto fue, Cd, 454 ppm; Pb, 11,9 ppm; Hg, <0,001 ppm; Ni, 21,5 ppm, As, 14,6 ppm y Cr, 3,60 ppm.

Palabras claves: Fibra, metales pesados, propiedades mecánicas

ABSTRACT

The present investigation was developed in the Peruvian Amazon where it presents an area of 74,739 ha of oil palm, the objective was to determine the mechanical properties, elemental composition and heavy metal content of the stalk fiber and fiber of the oil palm fruit. the Peruvian Amazon. The population was made up of 19.39 t day-1 of stalk and 12.48 t day-1 of fruit fiber extracted from the INDOLMA S.A industry, Neshuya district - Peru. The analyzes were carried out using the Universal Machine to determine its mechanical properties, UV-VIS Spectrophotometry for P and K; Kjeldhal method for N; For humidity, the humidity balance – PCE Ibérica and the potentiometer for the measurement of pH and the Atomic Adsorption Photogrammetry Spectrum (EAA) for heavy metals Cd, Pb, Cr, Ni, As and Hg were used. The mechanical properties of the stalk fibers were a maximum capacity of 2.55 kg; maximum stress of 115.6 MPa and a Modulus of elasticity of 731 Pa; for the fiber of the fruit it was; 0.46kg max capacity; maximum stress of 484.9 MPa and a Modulus of elasticity of 535.3 Pa. Regarding the levels of N, P, K, it was found that in the stalk fiber it was N; 1.39%, P: 3.55% and K: 4.45%; in the fiber of the fruit was, N, 1.19%, P 3.30% and K with 3.12%. The concentration of heavy metals were as follows, for the stalk fiber it was, Cd, 601 ppm; Pb 14.8ppm, Hg, <0.001ppm; Ni, 34.6ppm; As, 11.86 ppm and Cr, 5.80 ppm and for the fiber of the fruit it was, Cd, 454 ppm; Pb, 11.9ppm; Hg, <0.001ppm; Ni, 21.5 ppm, As, 14.6 ppm and Cr, 3.60 ppm.

Keywords: fiber, heavy metals, properties mechanical.

INTRODUCCION

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) originaria de África occidental, es uno de los cultivos tropicales de realce económico, como fuente principal de producción de aceite vegetal (Uke, et al., 2021). Indonesia es el más grande productor de palma aceitera ocupando el 58% de la producción mundial, seguido por Malasia con el 26%, mientras que Colombia se posiciona con el 2% de producción ocupando el cuatro lugar, pero siendo el primero de Latinoamérica (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2021), esto a su vez significa que, al producir aceite vegetal, también es capaz de generar grandes cantidades de residuos (Castells, Amez, Medic, & García-Torrent, 2021), donde el 80% corresponde como residuo después de la extracción del aceite (Suksong, et al., 2020) y al no contar con un correcto manejo suponen un gran peligro medioambiental, la eliminación en vertederos son causantes de contaminación terrestre y acuática por medio de lixiviación, además, la incineración también es una fuente de contaminación atmosférica liberando sustancias tóxicas (Aidil, Hadibarata, & Sathishkumar, 2021), donde estos montículos de residuos pueden llegar a ocupar grandes extensiones de áreas útiles para las industrias oleaginosas

Los residuos principales que se generan en las industrias de extracción de aceite de palma son los Racimos de Frutas Vacías (RFV), la fibra del mesocarpio (FM) y la cascara de palmiste (CP) (Azri, Abnisa, Wan, Abu, & Kheang, 2017) y presentan características adecuadas para su explotación por su disponibilidad, bajo costo y además por el enfoque sostenible (Jing, et al., 2020), siendo aprovechado como combustible así como fertilizante orgánico por la industria (Mahidin, et al., 2020).

Como consecuencia el interés por estos residuos agroindustriales ha venido creciendo, convirtiendo el problema de eliminación en una fuente de aprovechamiento sostenible (Truckell, Shah, Baillie, Hallett, & Sakrabani, 2019). Partiendo de conocer las composiciones de la biomasa el cual puede variar por influencia ambiental, genética, naturaleza y ubicación geográfica (Demirbas, 2005).

Los residuos de palma como fibra natural lignocelulósico posee el potencial de ser aprovechado principalmente por su alto modulo específico, peso ligero, bajo costo y disponibilidad significativa en las industrias agrícolas de palma aceitera (Izani, Paridah, Anwar, Nor, & H´ng, 2013), tienen propiedades biodegradables, no abrasivas y de naturaleza renovable (Sapuan, Ismail, & Mohamed, 2009)

La investigación demostró que el Racimo de Fruto Vacío y la Fibra del Mesocarpio tienen propiedades adecuadas de contenido nutricional (NPK) para ser utilizados como fertilizantes, mientras que los resultados obtenidos de los metales pesados tanto el cadmio como el níquel presentaron valores que superan los límites máximos permisibles de materiales destinados a la producción de fertilizantes, pero los cuales pueden reducirse a niveles óptimos mediante la aplicación de enmiendas

Se permite de esta manera que, con la caracterización del contenido nutricional, el contenido de metales pesados y las propiedades mecánicas de los residuos de RFV y FM procedentes de la extracción de aceite de palma el fin de una orientación para el aprovechamiento de los residuos de palma aceitera.

INDICE

Pág.

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

INTRODUCCION x

INDICE xii

CAPITULO I 19

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. 19

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. 19

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 21

1.2.1. Problema General. 21

1.2.2. Problemas Específicos. 21

1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 22

1.3.1. Objetivo General. 22

1.3.2. Objetivos Específicos. 22

1.4. HIPÓTESIS GENERAL Y/O SISTEMA DE HIPÓTESIS. 22

1.4.1. Hipótesis General. 22

1.4.2. Hipótesis específicas. 23

1.5. VARIABLES. 23

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA. 23

1.7. VIABILIDAD. 24

1.8. LIMITACIONES. 25

CAPITULO II 26

MARCO TEÓRICO 26

2.1. ANTECEDENTES. 26

2.2. BASES TEÓRICAS. 33

2.2.1. Propiedades Mecánicas......33
2.2.1.1. Diagrama esfuerzo – deformación unitaria.....34
2.2.1.2. Esfuerzo.....34
2.2.1.3. Deformación unitaria.....35
2.2.1.4. Módulo de elasticidad.....35
2.2.2. Composición química......36
2.2.2.1. Esencialidad de los nutrientes.....36
2.2.3. Metales pesados......37
2.2.3.1. Cadmio.....38
2.2.3.2. Níquel.....38
2.2.3.3. Cromo.....39
2.2.3.4. Plomo.....39
2.2.3.5. Mercurio.....40
2.2.3.6. Arsénico.....41
2.2.4. Clasificación taxonomía de la especie......41
2.2.5. Características morfológicas......41
2.2.5.1. Raíces.....41
2.2.5.2. Tronco.....42
2.2.5.3. Racimos y frutos.....42
2.2.6. Distribución mundial......43
2.2.7. Palma Aceitera en el Perú......44
2.2.7.1. Superficie cultivada.....44
2.2.7.2. Producción de Racimo de Fruto Fresco (RFF).....45
2.2.7.3. Capacidad instalada de la industria de palma.....45
2.2.8. Residuos de Palma Aceitera......46
2.2.8.1. Escobajo.....47
2.2.8.2. Cuesco.....47
2.2.8.3. Fibra.....48

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES. 48
2.4. BASES EPISTÉMICAS 51
CAPITULO III 54
MARCO METODOLÓGICO 54
3.1. Tipo de Investigación. 54
3.1.1. Tipo de investigación. 54
3.1.2. Nivel de investigación. 54
3.1.3. Enfoque de investigación. 54
3.2. Diseño y esquema de la investigación. 55
3.3. Población y muestra 55
3.3.1. Población. 55
3.3.2. Muestra. 56
3.4. Instrumento de recolección de datos. 57
3.5. Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos. 58
3.5.1. Ubicación. 58
3.5.2. Recolección de la muestra. 59
3.5.3. Procedimiento de preparación de la muestra. 60
3.5.3.1. Limpieza del centro de acopio. 60
3.5.3.2. Secado. 60
3.5.3.3. Trituración. 60
3.5.3.4. Eliminación de impurezas. 60
3.5.3.5. Separación. 61
3.5.3.6. Molienda y Tamizado. 61
3.5.4.1. Contenido de humedad inicial. 62
3.5.4.2. Caracterización de propiedades mecánicas. 63
3.5.4.3. Caracterización de las propiedades mecánicas. 64
CAPITULO IV 73
RESULTADOS 73

4.1. Resultados del escobajo de palma 73
4.1.1. Propiedades mecánicas de la fibra del escobajo 73
4.1.2. Composición química de la fibra del escobajo. 74
4.1.3. Contenido de metales pesados de la fibra del escobajo. 75
4.2. Resultados de la Fibra del fruto de la palma Aceitera. 76
4.2.1. Propiedades mecánicas de la fibra del fruto. 76
4.2.2. Resultados de composición química de la fibra del fruto. 77
4.2.3. Contenido de metales pesados de la fibra del fruto. 78
CAPITULO V.....79
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....79
VI. CONCLUSIONES. 83
VII. SUGERENCIAS.....84
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 85
IX. ANEXOS......99
9.1. Fotografías de recolección y preparación de muestras. 99
9.2. Resultados de Laboratorio 102
9.3. LMP internacional análisis estadísticos y resultados. 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de metales en la biomasa residual de Palma (%)…….. 25

Tabla 2. Estructura de la producción mundial de aceite de palma (1000 t) al 2016…… 39

Tabla 3. Producción de RFF de Palma Aceitera por provincia al 2014 en tn …… 41

Tabla 4. Plantas extractoras de aceite crudo de palma en el Perú……. 41

Tabla 5. Calculo para la obtención de la Población de la investigación…….. 52

Tabla 6. Rotulado de muestras de fibra de escobajo y fruto…… 62

Tabla 7. Rotulado para análisis de concentración de Metales Pesados…... 63

Tabla 8. Pruebas de Normalidad de las propiedades mecánicas de la fibra del Escobajo…….. 64

Tabla 9. Pruebas de Normalidad para la composición química del Escobajo……. 64

Tabla 10. Prueba de Normalidad para concentración de metales pesados en Escobajo……... 65

Tabla 11 Prueba de Normalidad para las propiedades mecánicas de la fibra del fruto……..... 65

Tabla 12 Prueba de Normalidad para composición química de la Fibra…… 66

Tabla 13. Pruebas de Normalidad para la concentración de metales pesados en la Fibra…….. 66

Tabla 14. Prueba de Normalidad de las propiedades mecánicas del Escobajo……. 67

Tabla 15. Prueba de Normalidad de las propiedades mecánicas de la Fibra……. 67

Tabla 16. Valores de las propiedades mecánicas de la fibra del escobajo 69

Tabla 17. Valores de la composición química del escobajo (%)…….. 70

Tabla 18. Concentración de metales pesados en escobajo de palma aceitera…… 71

Tabla 19. Valores de las propiedades mecánicas de la fibra del fruto de la Palma Aceitera……..... 72

Tabla 20. Valores de la composición química en la fibra del fruto…… 73

Tabla 21. Valores del contenido metales pesados en la fibra del fruto……... 74

Tabla 22.Concentraciones aceptables máximas para productos fertilizantes orgánicos……... 105

Tabla 23. Análisis de propiedades mecánicas de la fibra del escobajo…….. 106

Tabla 24. Análisis propiedades mecánicas de la fibra del fruto……... 107

Tabla 25. Prueba de T para propiedades mecánicas entre la Fibras de escobajo y Fruto de Palma aceitera…… 108

Tabla 26. Prueba de T de muestras independientes de Contenido nutricionales entre la Fibras de escobajo y Fibras de Fruto de Palma aceitera……... 108

Tabla 27. Prueba de T de muestras independientes de parámetros de contenidos de metales pesados entre la Fibras de escobajo y Fibras de Fruto de Palma aceitera…… 109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama típico de esfuerzo-deformación unitaria 34

Figura 2.- Esquema del sistema radicular de la palma aceitera.....42

Figura 3. Esquema del método de cuarteo 57

Figura 4. Mapa de ubicación del proyecto. 58

Figura 5. Diagrama de procedimiento de preparación de la materia prima. 59

Figura 6. Esquema de evaluación de propiedades mecánicas y composición química. 61

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La industria agrícola genera grandes cantidades de desechos (Andy Green, 2019), como fuente de contaminación atmosférica, hidrológico y terrestre (Adegbeye, y otros, 2020) así mismo, la contaminación al suelo ocasionados por metales pesados presentes en la biomasa expuesta, activándose a corto plazo en el suelo según su contenido, genera graves riesgos a la salud humana (Zhang, y otros, 2021) a través de la cadena alimentaria (Hattab, Bougattas, Hassine, & Dridi, 2019) debido a su durabilidad, bioacumulación y toxicidad (Chen, y otros, 2019).

Algunos metales pesados son esenciales a nivel de micronutrientes para diversas actividades biológicas, pero esto sin embargo implica que en concentraciones elevadas presentan efectos tóxicos (Daneshfozoun, Abdullah, & Abdullah, 2017). El arsénico, cadmio, plomo y mercurio se consideran altamente venenosos (Bhargavi, Sethuraman, Maheswari, & Balaguru, 2015), aun cuando se encuentran en niveles bajos de concentración causando un grave peligro debido a su capacidad de bioacumularse (Bagal-Kestwal, Karve, Kakade, & Pillai, 2008), los que se caracterizan por presentar una densidad superior a 5 g/cm3 (Zaib, Makshoof, Saeed, & Farooq, 2015).

Las plantas acumulan los metales en distintas partes, con mayor significancia en los frutos los cuales ingresan desde el suelo y cuya fuente de contaminación es principalmente antropogénica (Olafisoye, Fatoki, Oguntibeju, & Osibote, 2020). La identificación de algunos metales pesados

está directamente relacionada con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn) (Alloway, 2013).

La descomposición a cielo abierto de los residuos de palma aceitera es capaz de generar condiciones anaeróbicas con emisiones de gases de efecto invernadero como el metano (Krishnan, et al., 2017), en consecuencia, es importante conocer sus posibles usos y potencial tanto como de fertilizantes y compostaje para beneficio del suelo agrícola (Anyaoha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, 2018).

La palma aceitera (Elaeis guineensis) originaria de África occidental y actualmente cultivada también en América del sur, representa un desafío la eliminación de sus residuos debido a su demanda y producción de aceite de palma el cual se podría convertir en una oportunidad de valorización (Enyaoha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, 2018). Durante el proceso de extracción de aceite de palma se produce subproductos de la biomasa como el Racimo Vacío (RV) resultado de la remoción de frutos del racimo de fruta fresca esterilizado; fibra del fruto (FF) resultado de la extracción del aceite de palma (Babinszki, y otros, 2021 & Garcia, et al., 2016), sin embargo, la utilización adecuada de estos residuos representa un desafió tanto para las empresas procesadoras de palma y para las mismas autoridades (Anyaoha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, 2018)

La superficie de producción total de palma aceitera en el mundo al año 2019 era de 22.768.000 hectáreas (ha), teniendo como principal productor a Indonesia ocupando el 56,1 % de presencia el cual corresponde a un total de 12.780.000 ha, seguido por Malasia con 5.200.000 ha y

Tailandia con 920.000 ha. (Fedepalma, 2020). En el Perú se presenta una superficie de 74,739 ha durante el periodo del año 2019, desarrolladas en 4 regiones de la amazonia: Huánuco, Loreto, Ucayali y San Martin (SIEA, 2019).

Asimismo, se conoce que el RV es un material rico en potasio (K) y en menor proporción, en nitrógeno (N), fósforo (P) y magnesio (Mg), siendo sus principales componentes polisacáridos, como celulosa, glucano y xilano, en aproximadamente 66% y polímeros, como la lignina, en 12% (CENIPALMA-ICA, 2002 & Garcia, Garcia-Nuñez, & Das, 2008 & Rahman, Choudhury, Ahmad, & Kamaruddin, 2007).

El objetivo de la presente investigación fue determinar las propiedades mecánicas, composición química y metales pesados del escobajo y fibra de la palma aceitera en la Amazonía peruana.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema General.

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas, composición química y metales pesados del escobajo y fibra de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq)?

1.2.2. Problemas Específicos.

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq)?
- ¿Cuál es la composición química del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq)?

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq)?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1.3.1. Objetivo General.

- Determinar las propiedades mecánicas, composición química y concentración de metales del escobajo y fibra de palma aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.)

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las propiedades mecánicas del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.)
- Determinar la composición química del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.)
- Determinar el concentración de metales del escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.)

1.4. HIPÓTESIS GENERAL Y/O SISTEMA DE HIPÓTESIS.

1.4.1. Hipótesis General.

- Si se logra determinar las propiedades mecánicas, composición química y concentración de metales pesados en el escobajo y fibra de Palma Aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.), entonces serán adecuadas para ser aprovechados en diferentes usos industriales

1.4.2. Hipótesis específicas.

- El escobajo y fibra de palma aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.) presentan propiedades mecánicas óptimas para ser aprovechados en diferentes usos industriales.
- Los niveles presentes en la composición química del escobajo y fibra de palma aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.) son factibles de ser aprovechados en diferentes usos industriales.
- La concentración de metales pesados del escobajo y fibra de palma aceitera (*Elaeis guinnensis* Jacq.) serán mínima.

1.5. VARIABLES.

1.5.1. Variable Independiente “X”

X1: Escobajo

X2: Fibra

1.5.2. Variable dependiente “Y”

Y1. Propiedades Mecánicas

Y2. Composición química.

Y3. Concentración de metales pesados.

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

Cada vez más se incrementa la producción de la palma aceitera en la región, tal es así que varias empresas nacionales están empezando a construir nuevas plantas de extracción de aceite crudo de palma (ACP) y algunos ya existentes tienen pensado la apertura de plantas de refinamiento de ACP; este escenario hace que también se incremente los

residuos biomásicos del proceso, tales como escobajo, fibra del fruto y la cascara de la nuez (cuesco) y hasta el momento no se tiene bien definido el manejo adecuado de estos residuos por parte de las empresas, la mayoría los entregan a los productores para que lo lleven a sus parcelas como material de relleno y en pocos casos lo utilizan como abono. La práctica de hacer abono con los escobajos (mayormente) es dejarlos a aire libre, y que a la intemperie se degrade progresivamente, mientras dura este proceso que de por si es lento, esto se debe al contenido, de lignina, celulosa, hemicelulosa, entre otros, que posee este residuo, que dan origen a la generación de hongos, atracción de moscas y roedores y producción de lixiviados con contenidos de aceite que contaminan el suelo, agua y aire, este último componente es afectado cuando los escobajos son quemados al aire libre.

Por lo anterior, esta investigación se centrará en determinación de las propiedades mecánicas, composición elemental y presencia de metales del escobajo y fibra de la palma aceitera con la finalidad de servir como conocimiento científico-teórico para futuras investigaciones que den utilidad a los beneficios químico y mecánico de esta biomasa lignocelulósica, disminuyendo así la contaminación que genera no conocer y por el mismo motivo no aprovechar sus propiedades.

1.7. VIABILIDAD.

La viabilidad del proyecto está respaldada en la disponibilidad de materia prima para la obtención del producto, asimismo se cuenta con personal calificado para la realización de los análisis a realizar, con respecto al financiamiento, el proyecto cuenta con fondos de FONDECYT

1.8. LIMITACIONES.

Las posibles limitaciones que se puede presentar en el proyecto es la inexistencia de laboratorios adecuadamente implementados con la tecnología de equipos necesarios para realizar los análisis de resistencia mecánica de la biomasa lignocelulósica en la región. Otra limitación seria que la universidad no dispone en los laboratorios de reactivos necesarios para la realización de los análisis requeridos, en estos casos se procederá a utilizar laboratorios de terceros existentes en el país.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

Castells, Amez, Medic, & García-Torrent (2021) en su investigación denominada “Influencia de la torrefacción en la cinética de combustión de los desechos de la palma aceitera de Malasia” provenientes de Johor (Malasia), dónde determinó el contenido de humedad utilizando un analizador halógeno Mettler Toledo HB43 para la obtención de resultados más confiables y presentando a este parámetro como una característica que afecta el poder calorífico de la biomasa, obteniendo como resultado de 6,46% de humedad en el RFV y 8,79% en la FF.

Ordoñez, Azamar, Mata, Silván, & Pampillón, (2020) menciona en su investigación “Potencial bioenergético y evaluación de la viabilidad técnica de los residuos del procesamiento de la palma aceitera: un estudio de caso de Jalapa, Tabasco, México” el uso sostenible de los residuos de palma aceitera generados durante el procesamiento del aceite de palma, mediante su potencial bioenergético, donde además determinó el contenido de humedad como parte del análisis próximo de la biomasa, mediante un analizador termogravimétrico de acuerdo a la norma ASTM D7582, presentando un contenido de 7,42 % de humedad en el racimo de fruto vacío y 6,12 en la fibra del fruto.

Idris, *et al.,* (2015), refiere en su estudio de “Rendimiento mejorado y mayor poder calorífico del biocarbón de la biomasa de palma aceitera con un tiempo de retención bajo bajo carbonización autosostenida” colectaron Racimos de frutos vacios de palma aceitera de Selangor-Malasia, donde

utilizaron pruebas analítivas para la determinación de la humedad, obteniendo un valor de 8,31 ± 0,28% , mientras que el contenido de Nitrógeno se determinó con un analizador CHNS/O teniendo como resultado el valor de 1,65 ± 0,27% como parte de los analisis que requirió para dar respuesta a una tecnología para el adecuado manejo de la biomasa de la plama aceitera con un enfoque a una industria sostenible.

Kabir, Din, & Hameed, (2017), detalla en su trabajo de investigación sobre la “Pirólisis de fibra de mesocarpio de palma aceitera y fronda de palma en un reactor de lecho fijo de calentamiento lento: un estudio comparativo” utilizando residuos de FF de palma aceitera provenientes de Pinang-Malasia, determinó las propiedades de análisis próximo de la humedad mediante el equipo PerkinElmer TGA7 siguiendo los protocolos por las normas ASTM D7582-10, donde obtuvo un porcentaje de 4,83 mientras, que las composiciones elementales de nitrógeno lo determinó con un analizador CHNO/S modelo 2400 Serie II, el cual presento un nivel de 0,67% de nitrógeno, así mismo, los metales presentes fue determinado por una análisis EDX presentando 39,81% de K y 9,20% de fósforo, los cuales forman parte de los macro y micronutrientes de las plantas.

Anyaoha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, (2018) determinó en su estudio de la “Evaluación crítica de residuos sólidos de racimos de frutas frescas de palma aceitera como enmiendas del suelo: perspectivas y desafíos” el uso y aprovechamiento de los desechos de la industria de palma aceitera como un recurso de valorización con un enfoque de reciclar los nutrientes para mejorar el suelo agrícola – Nigeria, para ello, determinó sus propiedades de nitrógeno de 0,70% y fosforo de 0,20% demostrando que con la conversion adecuada los residuos de palma aceitera pueden

convertirse en mejoradores de suelos optimos así reducir la contaminacion y generar una economía verde.

Kheang.(2017), determino en su investigación "Potencial de la biomasa de la palma acitera de Malasia como fuente de energía renovable" donde mediante la norma ASTM D -5142 determino el contenido de humedad, de igual manera los contenidos nutricionales y metales pesados (ASTM D 6349) con muestras seleccionadas de diferentes molinos de Malasia, obteniendo 0,24 ± 0,11 en el RFV y 0,39 ± 0,06 en la FM, correspondiente al contenido de Nitrógeno, así en P de 1%, 2.03% K, en el RFV y 0.06% P , 0.78% K en la FM

Weng, *et al*., (2020) determinó en su investigación la mejora en procesos de gasificación de lodos con agua supercrítica con la adición de racimos de fruta vacía de palma aceitera, caracterizando la muestra, obteniendo 49.59% de carbono, 0,67% de nitrógeno y 31,62 g.kg^-1 de potasio.

Babinszki, *et al*., (2021) en su estudio de la descomposición térmica de residuos de biomasa derivados de la producción de aceite de palma donde determinó mediante análisis ICP-OES y de termogravimetría-espectrometría, encontrando en la fibra del mesocarpio componentes de potasio de 0.96%, fosforo de 937 ppm, cromo con 938 ppm, níquel con 442 ppm y cobre con 34 ppm mientras que en las muestras de racimo de fruto vacío encontró valores de 2.26 % de potasio, 666 ppm de fosforo, 326 ppm de cromo, 158 ppm de níquel y 15 ppm de cobre.

Talero, Rincón & Gonzales (2017), en su trabajo de investigación "*Torrefacción de la palma aceitera (Elaeis guinnensis) Racimos de frutas*

vacías y fibra de las llanuras orientales colombianas. Medición del efecto de la temperatura de torrefacción en las características de los productos" determinaron concentraciones del contenido nutricional, hallando entre ello su composición elemental en base seca de la tusa/escobajo obteniendo datos de 48,19% de Carbono (C), 5,19% de Hidrogeno (H), 1,04 de Nitrógeno (N); 42,4% de oxígeno (O) y de la fibra estando presente 49,49% de C, 5,87% de H, 0,01%N y 39,18% O.

Quintero (2017), muestra en su estudio *"Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar"* realizado en Colombia, los resultados obtenidos del análisis de los componentes elementales como parte de la composición nutricional como macronutrientes del raquis, fibra y cuesco de palma aceitera residuos sólidos agroindustriales procedentes de la extracción del aceite teniendo porcentajes en el raquis de 46,47% C, 6.22%H, 42,25%O, 1,12%N, 0,077%S; en la fibra obtuvo valores de 49,62%C, 6,18%H, 37,07%O, 1,68%N, 0,116%S; y en el cuesco encontró una concentración de 50,79%C, 5,91%H, 36,62%O, 0.8%N, 0,055%S. Así también determinaron concentraciones de los metales presentes en la biomasa residual de la extracción del aceite crudo de palma presentando los siguientes valores:

Tabla 1. Contenido de metales en la biomasa residual de Palma (%)

	Potasio (K)	Sodio (Na)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Hierro (Fe)	Fosforo (P)	Azufre (S)
Raquis	0,52	0,07807	0,92	0,32	0,01994	0,16	0,056
Fibra	0,54	0,07998	0,89	0,33	0,02019	0,22	0,5
Cuesco	0,56	0,08589	0,95	0,13	0,01747	0,17	0,067

Fuente: (Quintero, 2017).

Menon, Rahman & Bakar (2013), refiere en su investigación *"Evaluación de racimos de frutas vacías: mantillo en plantación versus combustible para la generación de electricidad"* determinaron el contenido nutricional, como composición elemental de la tusa de palma aceitera, encontrando concentraciones de 0,44% de N, de P 0,144%, de K 2,24%, de Mg 0,36% y de Calcio 0,36%

García, García & Das (2008), en su investigación *"Determinación de los parámetros cinéticos de la degradación térmica de los subproductos del molino de aceite de palma mediante análisis termogravimétrico y calorimetría diferencial de barrido",* encontró valores de su composición elemental en el cuesco de palma representados porcentualmente (%), 49,61 ± 0.59 de Carbono (C), 0,42 ± 0,03 de Nitrógeno (N) y 0,06 ± 0.02 de Azufre (S), Potasio (K) con 1477.70 ± 58,84 mg/kg-1, de Fosforo (P) 115,04 ± 4,35 mg/kg-1, de Magnesio (Mg) 262,69 ± 10,29 mg/kg-1, de Calcio (Ca) 173,72 ± 10,77 mg/kg-1, en el escobajo con contenido en porcentaje (%) 40,88 ± 2,47 de C, 0,87 ± 0,09 de N y 0,09 ± 0,01 de S, además de la presencia de otros elementos esenciales 22289,15 ± 2022,18 mg/kg-1 de K, 572,70 ± 226,44 mg/kg-1 de P, 913,12 ± 264,97 mg/kg-1 de Mg, 889,34 ± 290,96 mg/kg-1 de Ca; y en la fibra encontraron valores de 43,35 ± 2,28 (%) de C, 1,21 ± 0,08 (%) de N, 0,18 ± 0,02 (%) de S y otros elementos esenciales como 5188,26 ± 368,07 mg/kg-1 de K, 594,91 ± 68,08 mg/kg-1 de P, 1509,53 ± 180,22 mg/kg-1 de Mg, 1771,62 ± 104,34 mg/kg-1 de Ca; determinando además concentraciones de metales tales como el plomo en el cuesco con 17,31 mg/kg-1, Escobajo 9,78 mg/kg-1 y la Fibra con 2,26 mg/kg-1, cadmio presente en el cuesco con 0,01 mg/kg-1 , Escobajo 0,09

m mg/kg-1 y en la Fibra 0,07 mg/kg-1, cobre en el cuesco con 6,07 mg/kg-1, escobajo 29,22 mg/kg-1 y en la fibra con 37,31 mg/kg-1.

Apoveda, Bohórquez, Gonzales, Pertuz, & Rueda (2019) en su estudio “Caracterización mecánica de la fibra de raquis obtenida de la palma africana *elaeis guineensis*”, se determinaron la resistencia a traccion de la fibra de racimo de palma africana y la rigidez de la fibra en relacion a su peso siguiendo los estandares ASTM, obteniendo como resultado en el Modulo de elasticidad un valor de 960 MPa, el esfuerzo final obntenido fue de 110 MPa ademas del estudio encontraron las siguientes propiedades: diametro (0.48 – 0.52 um); densidad (1.25 g/cc) y deformacion unitaria de 8 – 10 %.

Mora & Ramón (2017), en su estudio *“Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos*” evaluaron sus propiedades mecánicas de cinco fibras naturales colombianas, entre ellas 3 especies de la familia de las Aracaceae: el guerregué cuya especie es *Astrocaryum standleyanum,* encontrando valores de Longitud de 20 mm, de Módulo elástico con 5,85 ± 2,50 GPa, teniendo un esfuerzo máximo a tensión de 249,11 ± 97,40 MPa, de un área transversal de 0,27 x 1,40 mm^2 y una deformación de 36,29 ± 26,70%; así como también de la Palma estera siendo de especie *Astrocaryum malybo* de esta encontró valores de 0,27 x 2,00 mm2 de área transversal, de longitud de 20 mm, teniendo un Módulo de elasticidad de 2,53 ± 1,20 GPa, con el Esfuerzo máximo a tensión de 104,73 ± 44,90 MPa y una deformación de 31,07 ± 17,80 %; y la palma iraca de especie *Carludovica palmata* tiene un área transversal de 0,4x 0,74 mm2, de longitud calibrada de 20 mm, con un Módulo elástico de 7,61 ±

3,10, con esfuerzo máximo a tensión de 100,89 ± 39,30 y un porcentaje de deformación de 10,33 ± 5,30 %.

Mejia (2012), en su investigación *"Elaboración de tableros aglomerados auto adheridos a partir de Fibra de raquis de Palma africana (Elaeis guineensis Jacq.)"* en Quito-Ecuador, determinaron las propiedades de mecánicas de la fibra de palma aceitera obteniendo valores en la tenacidad de 9,9 ± 1,1 (cN/Tex) y valores de elongación a la rotura de 10,6±1,4 (%) así como valores del título con 87,4±7,0 (Tex) y una carga máxima de 8,68 N. Además otro autores realizaron investigaciones en otras fibras naturales tal es así que (Cortés, 2009), ejecutó un estudio de *"Propiedades mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del Agave angustifolia Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal"* realizaron ensayos a tensión teniendo el objetivo de evaluar el comportamiento las propiedades mecánicas bajo estas condiciones: en tres rangos de diámetro y longitud constante; en tres diferentes longitudes y diámetro constante; en tres velocidades de ensayo en dos tipos de fibra, longitud, rango de diámetro y velocidad constante. Obteniendo que la fibra de bagazo presenta una resistencia a la tensión de 86.51 MPa, módulo de elasticidad de 1.26 GPa, deformación unitaria a la rotura de 0.26 mm/mm.

Mohamed, Sapuan, & Ismail (2009), determino en su estudio sobre las "Propiedades de tracción de la fibra de un solo racimo de fruta vacía de palma de aceite (OPEFB)" obteniendo valores de 71 MPa de resistencia a la tracción, 1.703 MPa en el módulo de Young y 11% de elongación, utilizando la Maquina Universal (modelo 5566)

Zevallos (2015), en su trabajo de investigación denominado "Determinación del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma, en las Provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, Región Ucayali; 2015" menciona que la cantidad de carbono fijo encontrado equivale a un 3.33% de la biomasa total.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Propiedades Mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales se definen como la ciencia que se ocupa de la energía, fuerza y efectos que puedes provocar en un cuerpo sometiendo a la resistencia el material propenso a la deformación o fractura cuando se le aplica determinada fuerza. Las propiedades mecánicas son respuestas de un material y la capacidad de soportar esfuerzos mecánica o presión, estas se expresan en unidades de tensión y/o deformación (Anusavice, 2004; Pazos, 2006).

Las propiedades mecánicas dependen de las estructuras de los vegetales, lo cual está estrechamente ligada a sus características genéticas, la edad y a su vez a las condiciones ambientales al cual está expuesto en el medio que se desarrolla considerando la calidad de agua, suelo, aire y exposición a la luz (Quiroz, 2006).

La finalidad de conocer las propiedades mecánicas de un cuerpo es para que se pueda predecir el comportamiento de este material durante su fabricación, así también, para predecir el comportamiento de un objeto diseñado y construido con este tipo de material (Morral, Molera, & Jimero, 1985).

2.2.1.1. Diagrama esfuerzo – deformación unitaria.

Al obtener datos de ensayo de tensión o de compresión se puede calcular los valores del esfuerzo y los que corresponden a la deformación unitaria de un especimen para luego poder ser graficado los resultados obtenidos (Hibbeler, 2006).

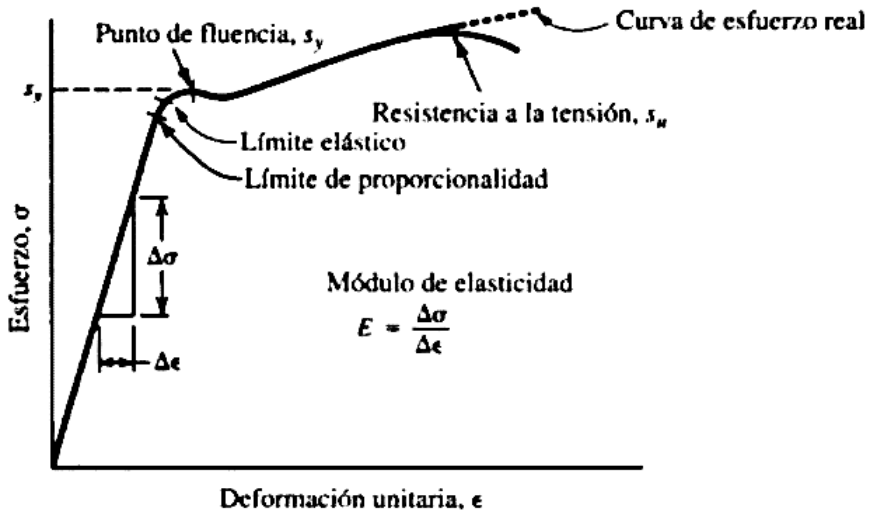


Figura 1. Diagrama típico de esfuerzo-deformación unitaria

Fuente: (Hibbeler, 2006).

Al graficar los valores de F (Esfuerzo) y ϵ (deformación) con los esfuerzos como ordendas y las deformacion unitarias como abscisas, la curva resultante viene a ser el diagrma de esfuerzo-deformacion unitaria, este resultado nos proporciona la resistencia a tension (o a compresion) de una material sin considerar el tamaño o forma geometrica de un material especifico, dependiendo directamente de la composicion del material , imperfeccion microscopica, velocidad de carga y de la temperatura durante la prueba (Hibbeler, 2006).

2.2.1.2. Esfuerzo

Esfuerzo nominal o de ingeniería se puede determinar usando los datos registrados, dividiendo la carga P aplicada (fuerza perpendicular a la

superficie) entre el área A_0 de la seccion tranvsersal original del especimen; este calculo refiere que el esfuerzo es constante en la seccion transversal asi como en toda la region entre los puntos calibrados (Hibbeler, 2006), la ecuacion es el siguiente:

$$F = \frac{\mathrm{P}}{A_0}$$

2.2.1.3. Deformación unitaria

Deformación nominal o de ingenieria se puede determinar directamente leyendo el calibrador o dividiendo el cambio en la longitud calibrada δ (longitud final menos la longitud original), entre la longitud calibrada original del espécimen L0. Aquí se debe suponer que la deformación unitaria es constante en la region entre los puntos calibrados (Hibbeler, 2006), ver ecuación 2.

Ecuación 2

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

2.2.1.4. Módulo de elasticidad.

En el diagrama esfuerzo-deformacion unitaria, para la parte rectilínea el esfuerzo es propocional a la deformacion unitaria y el valor de E, módulo de elasticidad, viene a ser la constante de proporcionalidad (Mott, 2006), cuya ecuacion es el siguiente:

Ecuación 3

$$E = \frac{esfuerzo}{\text{deformacion unitaria}} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

2.2.2. Composición química.

Este proporciona un resultado global típico de la materia, encontrando valores de Carbono (C), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Hidrógeno (H), Fosforo (P), Potasio (K), Azufre (Z), Calcio (Ca), y Magnesio (Mg), además de determinar elementos traza que normalmente se encuentran en proporción del 0.3% en la materia vegetal los cuales comprenden Manganeso (Mn), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo) Cloro (Cl) y Hierro (Fe) (Parés & Jaurés, 2002).

2.2.2.1. Esencialidad de los nutrientes

La esencialidad de los nutrientes se determina por las funciones que están cumplen, y que al momento de ser privadas de estos elementos podrían causar daños en el desarrollo de las plantas; se les clasifica así como macronutrientes a los que están presentes en elevadas concentraciones y los micronutrientes presentes en cantidades traza; así mismo Armón y Siot en el año 1939 afirman que se deben cumplir tres criterios para determinar que un elemento es esencial cuando:

- La planta les es imposible terminar su ciclo de vida en ausencia de este elemento.
- La función de este no puede ser reemplazada, cumple actividades específicas en la planta.
- Debe ser identificado como parte de un metabolito u alguna otra estructura química de la misma planta.

Además, se señala que a su clasificación en total están presentes diecisiete elementos esenciales de acuerdo a su concentración en el tejido vegetal incluidos el Carbono, Hidrogeno y Oxigeno; estos tres elementos

no son considerados nutrientes minerales debido a que su obtención proviene principalmente del agua y del dióxido de carbono; de estas 6 son considerados macronutrientes: Nitrógeno (N) , Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S); y ocho micronutrientes Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Níquel (Ni); estos últimos elementos son esenciales en mínimas proporciones, pero son tóxicos cuando se encuentran en ausencia o en niveles mayores, así como la presencia de elementos tales como el Cadmio (Cd), Arsénico (As) y el Cromo (Cr) (Maschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2006; Turkdogan, Kilicel, Kara, Tuncer, & Uygan, 2002; Falco, Nadal, Llobet, & Domingo, 2012).

Se menciona que las plantas absorben muchos elementos que no cumplen alguna función importante y/o especifica en su metabolismo, pero si desempeñan función importante en cantidades traza en los animales y ser humano (Kyrkby & Romheld, s,f).

2.2.3. Metales pesados.

Se puede definir como metal pesado a aquel cuyo peso específico sea igual o mayor que 6 g/cm3, o que su peso atómico sea más de 20 (Barceló & Poschenrieder, 1992).

Existen metales que pueden ser esenciales para las plantas tales como el Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y el Niquel (Ni), asi como pueden no serlo, como el Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Aluminio (Al) y Arsenico (As) que no es el por el hecho de sus caracteristicas quimicas, sino debido a las concentraciones en las que se encuentran lo que hacen de estos elementos una componente tóxico. Se encuentran en

la naturaleza normalmente en mínimas concentraciones, no pueden ser degradados solo pueden ser disueltos o ser lixiviados y en algunos casos son solubles incorporándose de esa manera a la cadena trófica (Barceló & Poschenrieder 2003; Abrahams, 2002).

2.2.3.1. Cadmio.

Se encuentra en los minerales de Zinc en forma de sulfuro de cadmio; se conoce que gran variedad de plantas absorben este elemento del ambiente aunque no es esencial desde una perspectiva nutricional, tiene una característica de blanco azulado. A los seres humanos llega de forma muy poco probable por medio de la ingesta o la inhalación llegando al hígado donde da comienzo de una proteína de bajo peso molecular, su eliminación tiende a ser muy lenta debido a ello que la exposición constate a este elemento causa una bioacumulación en el organismo (Borobia, 2006; Goldman, Ausiello & Schafer, 2016; Friedrich, 2008; Cespón, 2008).

2.2.3.2. Níquel

Los metales pesados no son biodegradables y el níquel es uno de ellos los cuales son conocidos como metales tóxicos (Aji, Wiguna, Karunawan, Lidia, & Sulhadi, 2017); en las plantas son causantes directa o indirectamente de una variedad de disfunciones fisiológicas y bioquímicas los que culminan como ultima instancia en una baja producción en los cultivos , estos son liberados comúnmente por actividades industriales, mineras, y la aplicación excesiva de fertilizantes, la concentración de niquel en suelos contaminados oscilan de hasta 30 veces el rango permitido (10 a 1000 ppm) (Amari, Ghnaya, & Abdelly, 2017)

2.2.3.3. Cromo

Debido a su amplio uso industrial, el cromo se considera un contaminante ambiental grave. La contaminación del suelo y el agua por cromo (Cr) es una preocupación reciente. La toxicidad del Cr para las plantas depende de su estado de valencia: el Cr (VI) es altamente tóxico y móvil y en más persistente en el suelo y no esencial para las plantas (Singh, Mahajan, Kaur, Batish, & Kohli, 2013), mientras que el Cr (III) es menos tóxico. Dado que las plantas carecen de un sistema de transporte específico para el Cr, es absorbido por portadores de iones esenciales como el sulfato o el hierro. Los efectos tóxicos del Cr sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas incluyen alteraciones en el proceso de germinación, así como en el crecimiento de raíces, tallos y hojas, que pueden afectar la producción y el rendimiento total de materia seca. El Cr también causa efectos nocivos en los procesos fisiológicos de las plantas, como la fotosíntesis, las relaciones hídricas.y nutrición mineral. También se han descrito alteraciones metabólicas por exposición al Cr en plantas, ya sea por un efecto directo sobre las enzimas u otros metabolitos o por su capacidad para generar especies reactivas de oxígeno que pueden provocar estrés oxidativo. El potencial de las plantas con capacidad para acumular o estabilizar compuestos de Cr para la biorremediación de la contaminación por Cr ha ganado interés en los últimos años (Shanker, Cervantes, Loza-Tavera, & Avudainayagam, 2005).

2.2.3.4. Plomo

Este elemento se encuentra de manera abundante en la naturaleza y posee un color plateado, además debido a sus propiedades de

maleabilidad y resistencia a cualquier tipo de degradación es una gran fuente comercial-industrial (Borobia, 2006; Goldman et al., 2016).

Una de las maneras conocidas en la actualidad de su absorcion en los seres humanos es por medio de la mineria al ser manipulado directamente, este elemento puede entrar a traves de la piel, así como, por medio de la ingesta e inhalacion; a su vez, tambien en concentraciones elevadas es perjudicial para las plantas retardando o impidiendo su crecimiento. Muchas veces este elemento puede contener presencia de otros metales, su sepracion se puede llevar mediante trituracion en seco así el plomo se puede fundir y servir en la industria de refineria seprandolo del cobre, estaño y otros (Borobia, 2006; Raven, Evert & Eichhorn, 1992; Goldman et al., 2016).

2.2.3.5. Mercurio.

Los medios de adquisición de mercurio al cuerpo se da por medio de la piel, por inhalación e ingesta, lo alarmante de este elemento es que tiende a bioacumularse y biomagnificarse ademas de ser persistente provocando riesgos en la calidad ambiental y en la salud llegando a la cadena trofica pasando a los animales y el hombre; se menciona ademas que en las plantas se centra sus concetraciones mayoritarias en las hojas y tallos a comparacion con la concentracion minima presente en las frutas (Ramirez, 2008; Islam, Yang, He & Mahmood, 2007; Zheng, Liu, Hu & He, 2008; Perez, Vidal & Marrugo, 2014).

2.2.3.6. Arsénico.

Se le puede encontrar en estado elemental, orgánico (en este estado contiene una baja concentracion de toxicidad) e inorgánico, presentes en las rocas, menas de metal, en el suelo y en los seres vivos siendo un poco menos abundante en la naturaleza, además, se conoce que este elementro es un microcomponente en los tejidos de las plantas y animales, e influye muy activamente en las proliferacion de las celulas y en la desintegracion enzimática de los glúcidos (Goldman et al., 2016; San Miguel, 1956).

2.2.4. Clasificación taxonomía de la especie.

Especie: *Elaeis guinnensis* Jacq.

Género*:* *Elaeis*

Familia: Arecaceae

Este género incluye tres tipos de especies: *E. guinnensis*, de África Occidental; *E oleífera* (*Elaeis melanococca*) que prospera desde Centro América hasta Brasil y *E. odora*, una especie poco conocida en América del Sur, pero propia de la cuenca de las amazonas (Leon, 2000; Carmenatti, Sarmiento, & Santos, 2005).

2.2.5. Características morfológicas.

2.2.5.1. Raíces.

Se encuentran cerca del tronco formando una estructura cónica alcanzando hasta un total de diez mil raíces denominadas primarias, para luego dar origen a las raíces secundarias y sucesivamente a las terciarias, estas dos últimas son un poco más largas que las primarias; también están las cuaternarias siendo aún más pequeñas sirven para la absorción de

nutrientes; pero de manera horizontal las primarias son largas que en posición vertical cumpliendo una función de anclaje al suelo (Ortiz & Fernández, 1994; IICA, 1983; Rojas, 1989).

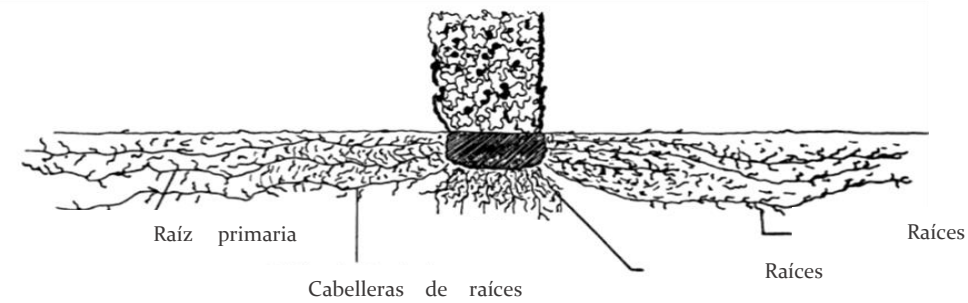


Figura 2.- *Esquema del sistema radicular de la palma aceitera.*
Fuente: *Ortiz & Fernández, (1994).*

2.2.5.2. Tronco.

El tronco se caracteriza por du forma cilíndrica sin ramificación inferiores, este puede alcanzar hasta 25 metros de alto; a los 3 años de edad el tronco se alarga y emergen las hojas, el crecimiento se basa en la estructuración del bulbo alcanzado hasta 60 cm de diámetro. La palma posee un solo punto de crecimiento meristemo apical ubicado en la zona central del mismo tronco donde se halla una masa de hojas jóvenes produciendo de 30 a 40 hojas por año, mientras que durante su madurez produce aproximadamente 20 hojas por año adheridas por 12 a más años (Ortiz & Fernandez, 1994; IICA, 1983; Carmenatti *et al.,* 2005).

2.2.5.3. Racimos y frutos.

El racimo presenta una forma ovoide con unas dimensiones aproximadas de 35 cm de ancho por 50 cm de largo y un peso de 2 a 3 kilogramos en jóvenes y llegar a pesar hasta 100 kilogramos en plantaciones adultas, está compuesto por el raquis, espigas y frutos. Posee

de 1200 a 1500 frutos adheridos a su base, este a su vez tiene formas alargadas y ovoides; debajo de su piel lo recubre la pulpa fibrosa denominada mesocarpio con 30% a 70% de contenido del aceite. El endocarpio es una concha lisa que da forma a la nuez y dependiendo el grosos se le denomina si es Dura el cual produce un fruto de cascara muy gruesa relativamente este produce un bajo contenido de pulpa, si es delgado; se le denomina tenera, con porcentajes aceptables de cascara y pulpa; y si el fruto carece de cascara con mayoritariamente proporción de pulpa, se le denomina pisífera (Carmenatti et al.,2005; IICA, 1983; Ortiz & Fernández, 1994; Rojas, 1989).

2.2.6. Distribución mundial.

Según el Consejo Mexicano para el desarrollo de la Palma Aceitera (COMEXPALMA, 2019), en su informe de la Estadística de aceite de palma 2017, menciona que el país con más importaciones en América latina de Aceite de Palma es Colombia siendo el quinto productor mundial de aceite de palma, Guatemala por su parte ocupa el 7mo lugar con alrededor de 565 mil de toneladas producidas. En la actualidad la mayor producción de aceite de palma se da en Indonesia ocupando una participación de 50,64% con 32 560 mil toneladas de producción, seguido por Malasia con una participación de 28,64%.

Tabla 2. Estructura de la producción mundial de aceite de palma (1000 t) al 2016

Ranking	País	Miles de Toneladas producidas	Participación %
1	Indonesia	32 560	50.64
2	Malasia	18 415	28.64
3	Otros 14 países	6 017	9.36
4	Tailandia	1 805	2.81

5	Colombia	1 285	2.00
6	Nigeria	955	1.49
7	Guatemala	565	0.88
8	Ecuador	535	0.83
9	Papua/N Guinea	511	0.79
10	Honduras	497	0.77
11	Brasil	415	0.65
12	Ivary coast	398	0.62
13	Costa Rica	255	0.40
14	Ghana	87	0.14

Fuente: (Oil word, 2019)

El Perú tiene la mayor superficie destinada al cultivo de palma aceitera en la amazonia, siendo el crecimiento en esta zona aún más acelerado (Dammert, 2014).

2.2.7. Palma Aceitera en el Perú.

2.2.7.1. Superficie cultivada.

En el Perú la superficie cultivada con palma aceitera en 4 regiones ocupa un total de 77 538 ha, 30 043 ha (39 %) se encuentra en la región de San Martin, 29 752 ha (38%) en la Región Ucayali, 3 380 ha (4%) en la región Huánuco y 13 993 ha (18%) en la región Loreto. La distribución de superficie cultivada con palma aceitera por provincia al 2014 en el Perú, indica que existe mayor presencia en Coronel Portillo y Tocache con 24 717 y 24 912 ha respectivamente ocupando un 32% del total, seguidos por Alto Amazonas con 12 810 ha (17%), Lamas con 5 501 ha (7%), Padre Abad con 5 034 ha (6%), Puerto inca y Marañón con 1 746 y 1 634 ha respectivamente (2%) por último encontrando a Loreto con 638 ha (0.8%) y Ucayali con 545 ha (0.7%) (JUNPALMA, 2016).

2.2.7.2. Producción de Racimo de Fruto Fresco (RFF).

Con respecto a la producción de RFF en las 9 provincias que se trabaja la palma aceitera en el Perú, se produce un total de 768 836 t, de estas encabeza Tocache con una producción de 387 340 t seguido por el Alto Amazonas con 15 419 t y por Coronel portillo en tercer lugar con 107 828 t (JUNPALMA, 2016) como se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Producción de RFF de Palma Aceitera por provincia al 2014 en tn.

Provincia	Región	Producción (t)
Lamas	San Martin	46 820
Tocache	San Martin	387 340
Coronel Portillo	Ucayali	107 828
Padre Abad	Ucayali	29 327
Puerto Inca	Huánuco	17 050
Marañón	Huánuco	10 994
Alto Amazonas	Loreto	159 419
Ucayali	Loreto	4 633
Loreto	Loreto	5 426

Fuente: (JUNPALMA, 2016).

2.2.7.3. Capacidad instalada de la industria de palma.

La Sociedad Peruana de Ecodesarrollo (SPDA, 2018), menciona que existen 15 plantas extractoras de aceite crudo de palma; en la Región San Martin se encuentra Industrias el Espino S.A con una capacidad instalada de 60 Tm/Hr de RFF el más grande en el Perú, y en la Región Ucayali encontramos que Oleaginosa Amazónica S.A (OLAMSA) cuenta con 2 plantas de procesamiento del aceite de palma con una capacidad de 24 y 15 Tm/Hr de RFF. Ver Tabla 5.

Tabla 4. Plantas extractoras de aceite crudo de palma en el Perú.

Nro.	Región	Provincia	Distrito	Nombre	Capacidad Tm/Hr de RFF
1		Tocache	Uchiza	Industrias del Espino S.A	60

2	San Martin		Pólvora	Industrias del Espino S.A	30
3			Tocache	Oleaginosas del Perú S.A (OLPESA)	30
4		Lamas	Caynarachi	Industria de la Palma Aceitera de Loreto y San Martin S.A (INDUPALSA)	6
5	Ucayali	Coronel Portillo	Campo Verde	Oleaginosa Amazónica S.A (OLAMSA) Planta 2	15
6			Campo Verde	Oleaginosa Amazónica S.A (OLAMSA) Planta 1	24
7		Coronel Portillo	Campo Verde	BIIOANDES	3
8			Campo Verde	Oleaginosas Pucallpa SA (OLPUSA)	1
9			Campo Verde	Oleaginosas Pucallpa SA (OLPUSA)	1
10			Callería	Industrias Palm Oleo S.A.C	4
11		Padre Abad	Padre Abad	Oleaginosa Padre Abad S.A (OLPASA)	6
12			Neshuya	Industrias Oleaginosas Monte Alegre S.A (INDOLMASA)	6
13			Von Humboldt	Industria de Aceite de Palma y Derivados-Ucayali S.A (Indepal Ucayali S.A)	1
14		Coronel Portillo	Campo Verde	AGROPECUARIA ROSSEL S.R. L	10
15	Huánuco	Puerto Inca	Honoria	Asociación de Productores Nuevo Amanecer	1

Fuente: (SPDA, 2018).

2.2.8. Residuos de Palma Aceitera.

La palma aceitera almacena gran parte de la energía obtenida en el proceso de la fotosíntesis en forma de materia orgánica, las que se encuentran en sus racimos vacíos, en el material fibroso, y otros residuos procedentes del procesamiento del aceite (Sumathi, Chai, & Mohamed, 2008).

2.2.8.1. Escobajo.

Los Escobajos son racimos vacíos llamados también raquis o pinzotes, se obtienen en el proceso de desfrute, el cual consiste en la separación mecánica de los frutos del racimo, y constituyen según valoraciones de un 20 a 35 % del peso total del racimo con frutos frescos. Los frutos desprendidos son transportados a un digestor y el escobajo es descargado en una banda transportadora a un patio, su disposición final en algunas plantas extractoras se realiza una vez a la semana, por lo cual, en esta área existe el problema de que, a corto plazo, el raquis se convierte en un material contaminante, por producir moscas, insectos varios y roedores (Ley, Arniza & Wan, 2007). El escobajo se compone de un tallo principal y de numerosas espiguillas con espinas afiladas en las puntas. Además, consta de haces vasculares, elásticos y flexibles, que están integrados en los tejidos del parénquima, similar a lo que se encuentra en troncos y malezas. Es de forma irregular y voluminosa, utilizado como material fertilizante por la misma industria y en la generación de biogás, así como en Malasia en la producción de papel (Gómez, 2008; Hasibuan & Wan, 2004).

2.2.8.2. Cuesco.

Es la cáscara que protege la almendra y a las fibras que se obtienen del proceso del prensado del fruto. Muchas veces utilizado como combustible para las calderas de la planta y en los rellenos de las vías, esta representa aproximadamente la cuarta parte de los residuos de la extracción del aceite es de consistencia dura, de estructura porosa. (Forero,

Cediel, Rivera, Suaza & Sierra, 2012; Sánchez, Duran, Aguiar, Uribe & Rojas, 2017; Gómez, 2008).

2.2.8.3. Fibra.

Es uno de los subproductos prensados del mesocarpio obtenido luego de la extracción del ACP. Por lo general esta fibra es quemada en la caldera para la generación de calor con beneficio para la misma planta (Gamarra, 2015; Van, 2016).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

- **Celulosa:** es el componente primordial presente en todo el reino vegetal como parte de la pared celular de las plantas; la paja posee aproximadamente un 30% de celulosa; este polímero natural puede ser obtenida de diversas materias al ser encontrada en todo tipo de material vegetal, en microrganismos, y estructura de algunos animales marinos; fue el primer material polimérico en ser modificado químicamente para una obtención de nuevos productos comerciales (Hans & Wolfgang, 1987; Melo & Cuamatzi, 2006; Gañana, Zuluaga, Castro & Osorio, 2017).
- **Elongación a la rotura:** La elongación se considera a un tipo de deformación del material el cual significa un cambio de forma que este experimenta cuando se aplica una tensión; además como el esfuerzo que tiene un cuerpo por la aplicación de una determinada carga exterior que se opone al cambio de la forma, es decir que viene a ser el cambio por unidad de longitud de la dimensión lineal

de un cuerpo que viene acompañando al desarrollo del esfuerzo; si se fija una longitud determinada en el cuerpo de tracción antes de estirarla (L_0) y se mide la distancia después de la rotura (l_f) se puede observar que se ha producido un aumento en la longitud, a este aumento se le divide por la longitud inicial, a esto se le conoce como elongación que se expresa en milímetros/ milímetro o en tantos por ciento. La elongación depende de la distancia que se tome como referencia para medir la deformación (Morral et al., 1985; USACH, s, f; USM, s, f).

- **Fibras:** Se define como tal a cada filamento que, dispuesto en haces, entran en la composición de los hilos y tejidos ya sea de origen mineral, artificial, vegetal o animal (Pineda & Jara, 2010)
- **Fibras vegetales:** Este término hace alusión a pelos unicelulares que crecen sobre la superficie de las semillas de un fruto, a pelos multicelulares extraídos de hojas, a las raíces de las plantas, a sus tallos, a la epidermis de los tallos, a brácteas de la inflorescencia, a la nervadura de la hoja, a los cogollos, a la corteza. Estas son parte de la composición de los tejidos orgánicos de las plantas y constituyen el aparato de sostén o esqueleto cuya función es de índole mecánica, que proporciona resistencia cuando ocurren estiramiento, torceduras o presiones evitando que las demás células de paredes delgadas puedan sufrir daño alguno; su forma y longitud varía dependiendo del tejido del cual es extraído y su grado de unión (Linares, Galeano, Garcia, & Figueroa, 2008).
- **Hemicelulosa:** Actualmente, se conoce con este término a los polisacáridos de la pared celular, con excepción de la celulosa y las

pectinas. La hemicelulosa se diferencia de la celulosa por presentar mayor velocidad de hidrólisis en medio ácido y por su solubilidad en álcalis, y en lo referente a la lignina, en su resistencia a la oxidación (Casey, 1990; Ariza, Caparrós, & Alcalde, 2009).

- **Lignina:** La lignina después de la celulosa es la sustancia más abundante en la tierra; se encuentra presente los tejidos vegetales de la pared celular, además de poseer una estructura y resistencia a la degradación añadiendo fuerza estructural mediante una barrera de resistencia a los polisacáridos (Taiz & Zeiger, 2006; Castillo *et al.,* 2005).

- **Resistencia a rotura:** Es la capacidad que tiene un material de resistir una tensión antes de que su sección transversal se contraiga de manera significativa, se obtiene mediante un ensayo de tracción y registrando la tensión en función de la elongación (deformación) el punto más elevado de la curva de tensión-deformación es la tensión de rotura, esta propiedad es considerada mayormente cuando el producto final a elaborar es frágil, el SI menciona que su unidad de medida es el Pascal (Pa) o Newton por metro cuadrado (N/m2), esta medida se utiliza normalmente para un control de calidad o también para una estimación del tipo de material a partir de una muestra desconocida (Velasco, 2017; USM, s, f; Smith & Hashemi, Materiales).

- **Resistencia ultima a la tensión:** Se le atribuye al punto máximo de la curva esfuerzo – deformación unitaria como la resistencia última a la tensión, también denominado solamente como

resistencia última o resistencia a la tensión. En este punto máximo se puede medir el máximo esfuerzo aparente en una barra de prueba de un espécimen; esta curva parece descender después de alcanzar el punto máximo (Mott, 2006).

- **Tenacidad:** La tenacidad se refiera a la resistencia que tiene una fibra a la tracción y la función de la densidad de la fibra; la tenacidad es mayor generalmente cuando este se encuentra húmedo en las fibras vegetales. Se define como aquella energía que un material absorbe hasta que este se fracture, se mide en joule en el Sistema Internacional (SI) (Billmeyer, 1975; Innovacion y Caulificacion S.L, 2018).

2.4. BASES EPISTÉMICAS

2.4.1. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas, entre todas las propiedades de los materiales, son con frecuencia las más importantes, porque virtualmente todas las condiciones de servicio y la mayoría de las aplicaciones finales involucran algún grado de solicitación mecánica.

La selección del grado adecuado para una determinada aplicación se basa frecuentemente en la selección de propiedades mecánicas tales como Resistencia al Impacto, Rigidez y Resistencia a la Tracción. Los valores de cartilla de las propiedades mecánicas de los plásticos se generan a partir de ensayos realizados en un laboratorio bajo condiciones normalizadas, mientras que, en las aplicaciones prácticas, los materiales no están sujetos a una deformación simple y continua, además de estar sometidos a factores ambientales adversos.

Justamente a esto, se hace mención en la parte que se describe la relación de las propiedades mecánicas con la temperatura y la velocidad de deformación.

La comprensión básica del comportamiento de tensión-deformación de los materiales, es de suma importancia para comprender el significado físico de las propiedades mecánicas.

Tensión: Fuerza aplicada para producir deformación en un área unitaria de una probeta de ensayo. Es la relación de carga aplicada al área de sección transversal original.

Deformación: Relación de la elongación a la longitud original (Δl/l). Se expresa como una relación adimensional.

Elongación: Incremento de la longitud de una probeta de ensayo producido por una tensión de carga.

2.4.2. Macronutrientes.

Las plantas necesitan la combinación correcta de nutrientes para vivir, crecer y reproducirse. Cuando sufren de malnutrición, muestran síntomas de falta de salud. Tanto el exceso como la carencia de nutrientes puede causar problemas.

Existen dos tipos de nutrientes de plantas: macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes son aquellos elementos que se necesitan en relativamente grandes cantidades. Entre ellos se incluye nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio y fósforo; mientras que **los micronutrientes** son aquellos elementos que las plantas necesitan en pequeñas cantidades (en ocasiones cantidades traza), como hierro,

boro, manganeso, zinc, cobre, cloro y molibdeno. Tanto macronutrientes como micronutrientes son obtenidos de manera natural del suelo.

2.4.3. Metales pesados.

Los metales pesados y elementos traza de gran importancia en el medio ambiente por su papel fundamental en la contaminación de suelos y, cultivos agrícolas pueden ser de naturaleza geogénica (origen natural) o antropogénica. Se habla de origen natural cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición de los distintos minerales presentes en el suelo. Los metales son de origen antrópico cuando sus concentraciones son mayores a las correspondientes a su composición geoquímica y son el resultado de las actividades del hombre por actividades industrial, minera y agrícola.

La actividad industrial contamina el suelo por vía aérea, a través de depósito de material particulado y emisiones gaseosas, como ocurre con las fundiciones y el transporte. También a través de aguas residuales como ocurre con la minería del cobre, industria automotriz, curtiembre, industria de la celulosa, galvanoplastia, y otras. Por otra parte, la actividad agrícola también contamina los suelos con metales pesados a través de la aplicación de fertilizantes que contienen trazas de metales pesados (ej. fosfatos), de plaguicidas con metales pesados, de estiércol, purines, compost, y lodos de aguas residuales.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación.

3.1.1. Tipo de investigación.

Por su profundidad la investigación fue de tipo descriptivo donde se buscó conocer las características de un fenómeno del que se analiza (Namakforoosh, 2005; Garcia, 2005).

3.1.2. Nivel de investigación.

La investigación por su finalidad fue aplicada el cual tiene como objetivo la creación de nuevas tecnologías con un método inmediato para la solución de un problema partiendo de los conocimientos que se adquirirá a través de la realización del estudio (Tam, Vera & Oliveros, 2008).

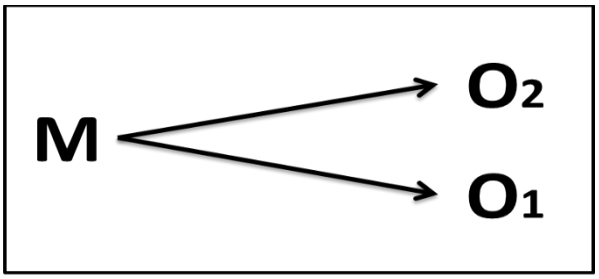
La materia prima estuvo sujeto a análisis que buscan determinar sus propiedades mecánicas, composición elemental y contenido de metales del escobajo y fibra.

3.1.3. Enfoque de investigación.

El carácter de la investigación tuvo un enfoque cuantitativo el cual se basó en la recolección de datos para poder probar la hipótesis planteada en base a la utilización de una medición numérica y el análisis estadístico (Hernandez, Fernandez & Baptista, 2006).

3.2. Diseño y esquema de la investigación.

El diseño de la investigación es descriptiva transversal, donde en un determinado tiempo se analizó aspectos específicos, sin fundamentar en una búsqueda de relación de causa-efecto (Garcia G. , 2005).



Donde:

M = Muestras

O = Medición, pruebas, Observación de las variables (1,2)

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

La población estuvo comprendida por toda la biomasa residual (escobajo y fibra de fruto) de la extracción de aceite de palma de la Industrias Oleaginosas Monte Alegre Sociedad Anónima (INDOLMA S.A), ubicado en el km 61 de la Carretera Federico Basadre.

La industria INDOLMA S.A cuenta con una capacidad instalada de 6t/hr y con 16 horas de trabajo al día programada, para la industria toman datos del 19% que representa la cantidad de Escobajo que obtienen y el 13% en fibra de su producción total; ante estos datos se pudo calcular la cantidad de residuo que generan, teniendo lo siguiente:

Tabla 5. Calculo para la obtención de la Población de la investigación

Población	% de residuo	Horas programadas (hr)	Cant. Residuo t/día
Escobajo	20.2*	96	19,39
Fibra	13.6*	96	13,05

*(Ramirez, Arévalo, & Garcia, 2015)

La cantidad de 19,39 t de escobajo y 13,05 t de Fibra constituye la población del estudio por día que la industria INDOLMA S.A puede generar según su producción instalada.

3.3.2. Muestra.

Conociendo nuestra población se procedió a calcular el tamaño de muestra para la realización de los análisis químicos y mecánicos.

Para este estudio se empleará el método no probabilístico de muestreo accidental donde se seleccionó las unidades de muestras dependiendo de características y criterios del autor hasta completar la cantidad necesaria para el análisis según el tamaño de muestra deseado (Avila, 1999), la muestra recolectada tuvo que ser fresco tomados de los procedimientos realizados por la planta de extracción del mismo día, siguiendo además el siguiente procedimiento:

El tamaño del volumen de residuos generados ha sido muy grande, para la cual nos regimos según lo que estipula las normas TAPPI T 605 *"Reducción de una muestra bruta de granular o agregado material al tamaño de prueba*" donde nos menciona la toma de muestra es de 60 kg por cada variable cuando tenemos una muestra bruta para poder manejarlo a un tamaño de pruebas en laboratorio, además para ello se dividió en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogió las dos partes opuestas (lados sombreados del gráfico que se muestra a continuación) el cual formó

un nuevo montón más pequeño y se dividió en cuatro partes nuevamente hasta obtener una muestra de 5 kg aproximadamente el cual nos sirvió para los análisis de laboratorio, aparte de ellos se obtuvo2 kg para los análisis de humedad inicial.

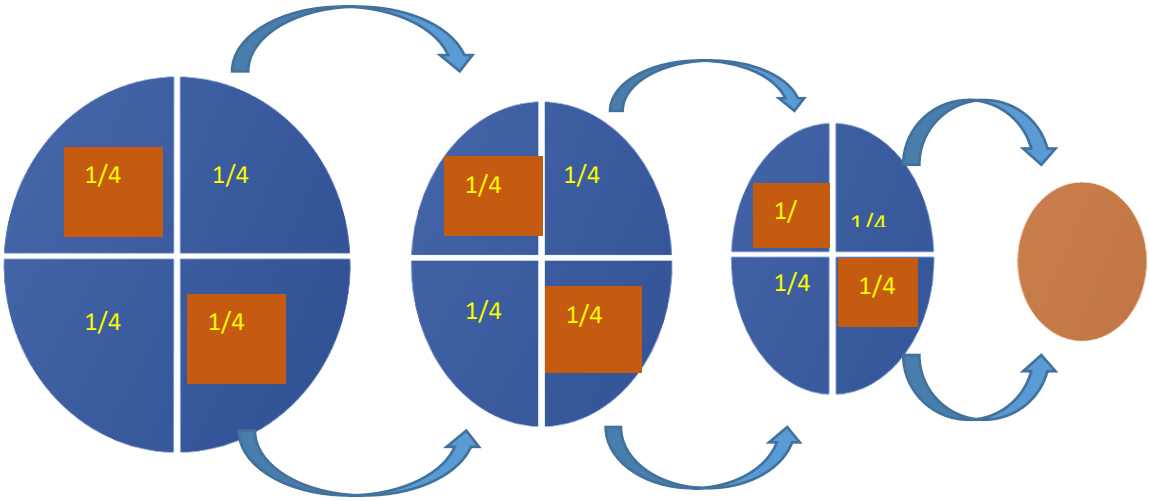


Figura 3. Esquema del método de cuarteo

3.4. Instrumento de recolección de datos.

A continuación, se detalla los materiales, equipos e instrumentos que han sido utilizados en el desarrollo de la investigación:

Los Materiales utilizados fueron: Crisol, Regla de 100 cm, Costal de 50 kg, Bolsa Hermética, Guantes, Plástico impermeable, Tamiz #60/#40

Los equipos utilizados fueron: Horno, Maquina trituradora, Desecador, Balanza Analítica, Microscopio, Maquina universal.

Los Materiales de campo utilizados fueron: Formato de registro de datos, GPS MAP 76, Cámara fotográfica, Camisa manga larga, Zapatos de seguridad, Guantes.

Los materiales de oficina utilizados fueron: USB, Laptop, Materiales de escritorio, Software de base de datos y procesamiento de texto (MS Word, MS Excel, GIS).

3.5. Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos

3.5.1. Ubicación.

La recolección del escobajo y fibra se obtuvo de la empresa INDOLMA S.A ubicada en el km 67 de la provincia de Padre Abad, el cual la mayoría de los análisis fueron llevados a cabo en los laboratorios de Tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali ubicada en el km 6,200 de la Carretera Federico Basadre, así como también fueron analizados en los laboratorios de Análisis de Servicios a la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), ubicado en el

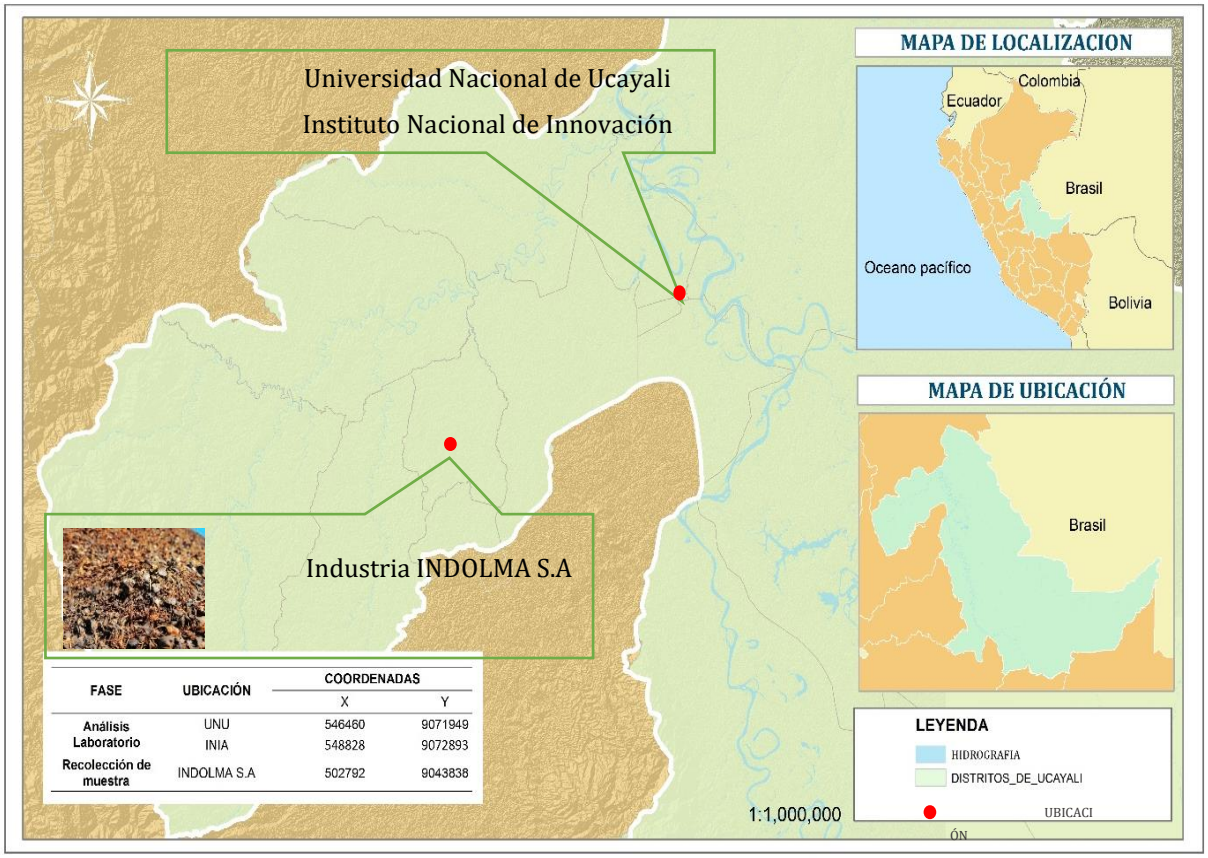


Figura 4. Mapa de ubicación del proyecto.

3.5.2. Recolección de la muestra.

La empresa INDOLMA S.A ha sido la industria con quien hemos trabajado, el escobajo y fibra residuo obtenido del proceso de extracción del ACP fue recolectado en sacos en estado húmedo el cual fue pesado y rotulado para su traslado a las instalaciones del centro de acopio ubicado en la Universidad Nacional de Ucayali para continuar con el proceso de preparación de la muestra (Ver figura 5) y posterior análisis.

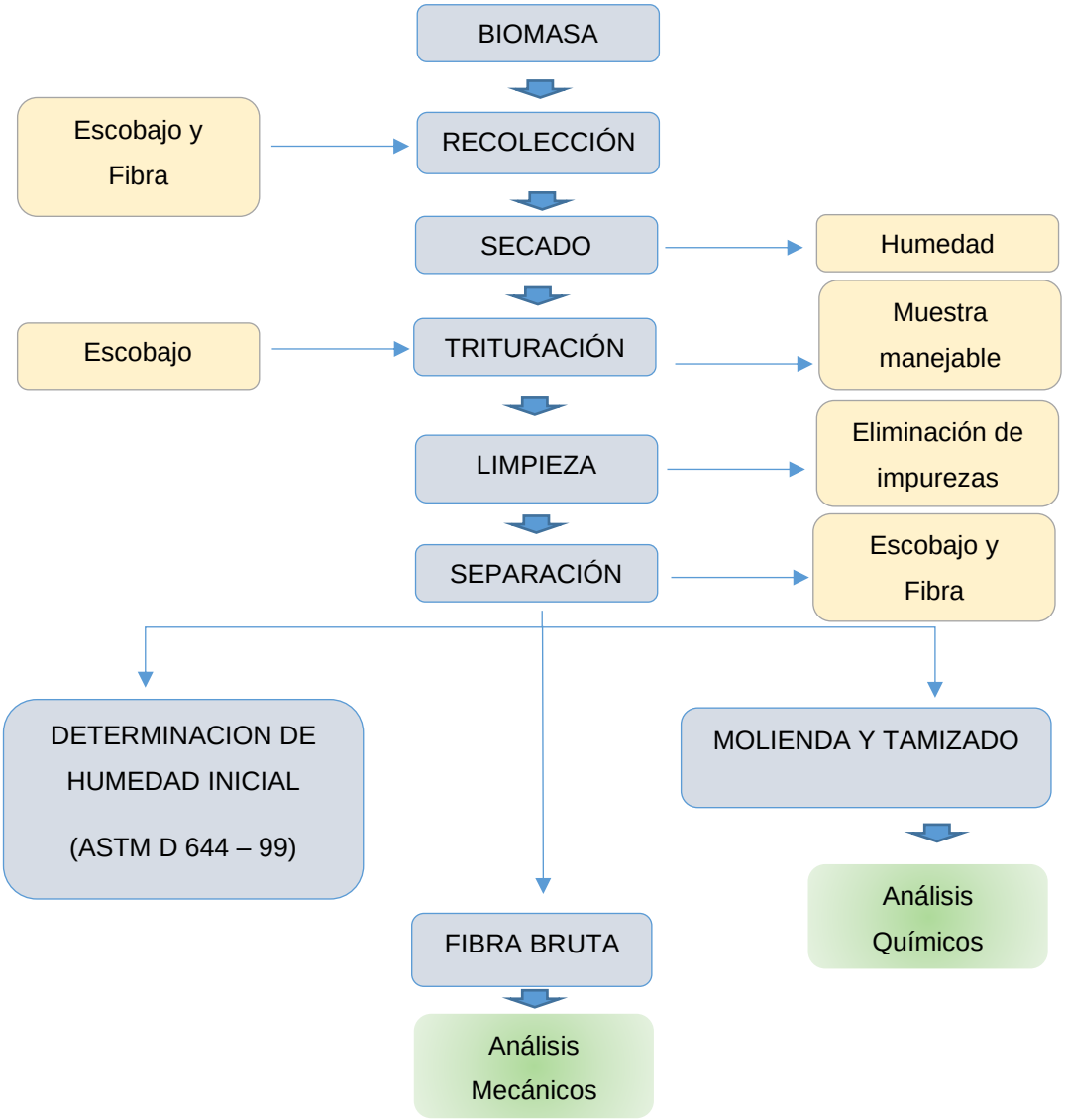


Figura 5. Diagrama de procedimiento de preparación de la materia prima.

3.5.3. Procedimiento de preparación de la muestra.

3.5.3.1. Limpieza del centro de acopio.

Se seleccionó un área techado ubicada en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali para la disposición de la materia prima recolectada de la empresa INDOLMASA la cual fue previamente limpiada y se colocó un plástico impermeable para así evitar el contacto de la muestra con cualquier otro tipo de muestra extraña.

3.5.3.2. Secado.

La muestra recolectada fue sometida a un secado al aire libre por 24 horas siendo removida constantemente durante ese periodo para reducir el contenido de humedad seguidamente se sometió a un secado de 48 horas a 70°C

3.5.3.3. Trituración.

Las muestras de escobajo recolectado fueron seguidamente sometidas a un proceso de trituración donde se obtuvo un espécimen más manejable para los análisis de laboratorio

3.5.3.4. Eliminación de impurezas.

Manualmente retiraramos cualquier muestra extraña presente separando de cortezas y restos de frutos en la materia prima recolectada como muestra homogenizando su contenido presente.

3.5.3.5. Separación.

Recolectamos tanto fibra como el escobajo de la planta extractora de ACP lo cual colocamos en 2 pilas separados cada residuo después del proceso de trituración del escobajo para su posterior manejo.

3.5.3.6. Molienda y Tamizado.

La muestra fue previamente molida y/o cortada para un mejor manejo con la finalidad de obtener fibras sueltas apto para la ejecución de los análisis de contenido nutricional y metales pesados.

3.5.4. Componentes evaluados.

Para analizar los diferentes componentes mecánicos y químicos se procedió con la utilización de diferentes normas adecuado a cada análisis que se detallan en la siguiente figura:

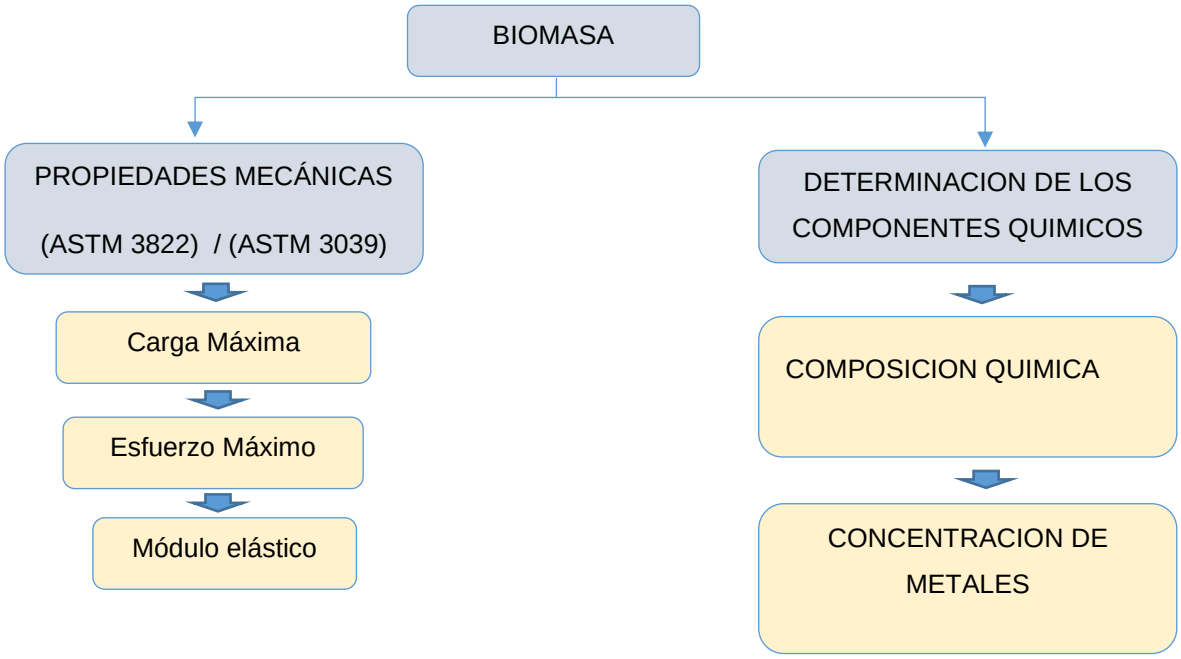


Figura 6. Esquema de evaluación de propiedades mecánicas y composición química.

3.5.4.1. Contenido de humedad inicial.

Se determinó la humedad inicial de la muestra del centro de acopio siguiendo los procedimiento de la las normas *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D 644 – 99

Para la toma de muestra para el análisis de humedad se seguió lo estipulado en la norma TAPPI T 605 om-92 donde menciona que para analisis de humedad en laboratorio se tomara 2 kg de la muestra bruta el cual fue transladado en una bolsa hermética.

Para el análisis del contenido de humedad se seguió los procedimientos establecidos en la norma ASTM D 644 – 99, donde previamente se colocó el crisol en el horno a 105°C durante 1 hora, luego se retiró rapidamente y colocó en un desecador para seguidamente dejarlo enfriar por 1 hora y así proceder a pesar el recipiente.

Se pesarón 2 gr de cada fibra el cual ha pasado por la molienda, para ser colocada en un crisol previamente tarada y secado, esta muestra se llevó a la estufa a una temperatura de 105°C durante un tiempo de 3 hr luego se colocó el recipiente rapidamente en el desacador por un lapso de 1 hora para pesar el contenido final.

Ecuación 4.

$$\%Humedad = \frac{\mathrm{W1} - \mathrm{W2}}{\mathrm{W1}} x\ 100$$

Donde:

W1 = peso inicial de la muestra

W2 = peso final de la muestra despues del secado

3.5.4.2. Caracterización de propiedades mecánicas.

La etapa de medición y corte corresponde a un análisis de caracterización física que servirá para la determinacion de las propiedades mecánicas posteriormente, la cual corresponde tres aspectos

- **Longitud.**

La longitud inicial de cada una de las fibras de la unidad experimental (escobajo y fibras) se obtuvo usando una regla metálica flexible con un rango de 0 a 1000 mm y una graduación de 0.5 mm. Para llevar a cabo la medición la regla se colocó sobre una mesa de trabajo y se sujetó el extremo de la fibra en el punto 0 de la regla. Luego se deslizó la fibra sobre la regla hasta registrar la medida en el otro extremo; de estas se seleccionarón 10 fibras de cada variable para el análisis mecánico.

- **Diámetro aparente.**

Se obtuvo usando un microscopio óptico con un lente de aumento 10x. El procedimiento experimental para medir el diámetro aparente fue lo siguiente:

Se realizó un muestreo aleatorio para obtener fibras individuales, posteriormente la fibra se montó sobre una tarjeta de papel aperturada y se sujetó con cinta adhesiva, después se colocó la tarjeta sobre un portaobjetos de vidrio, procurando ubicarla de manera horizontal y se observó en el microscopio; luego se realizó

la medición del diámetro aparente en la sección. A cada fibra se le realizaró 10 mediciones en su longitud de ensayo. Los valores que se obtuvo fue en centímetros cuadrados

- **Área de la sección transversal.**

Se seleccionó aleatoriamente las fibras, obteniendo 10 fibras, de ellas se dividió en 10 secciones de un espesor de 1 a 0.05 cm. Se registró una muestra total de 10 elementos por variable. El procedimiento que se siguió para medir el área de la sección transversal fue el siguiente:

Se procedió a cortar la fibra de manera perpendicular a su eje para así la superficie de la fibra tenga una consistencia plana usando un bisturí, la muestra se colocó en un portaobjetos de vidrio para ser observadas mediante el microscopio y sacar el área de sección transversal el cual está en unidad de medida de centímetros cuadrados (cm^2).

3.5.4.3. Caracterización de las propiedades mecánicas.

Los comportamientos mecánicos de las fibras se analizó bajo las normas de ASTM, la norma ASTM D 3822 nos indica que para pruebas de laboratorio se debe tomar una unidad de muestreo de 10 fibras al azar y en la norma ASTM D 3039 se sugiere una velocidad de deformacion de 1 mm/min.

- **Cálculo de esfuerzo – deformación unitaria.**

Se procedió calculando el esfuerzo y el porcentaje de elongación que se ejerce en la fibra, se utilizó una maquina universal

con una velocidad de deformación de 1 mm/min y se procedió con la formula descrita en la norma ASTM D 3039.

Ecuación 5

$$F = \frac{\mathrm{P}}{A_0}$$

Donde:

F = esfuerzo a la tracción, MPa

P = Carga máxima antes de la falla, N

A = Área transversal promedio

El porcentaje deformacion se calculó:

Ecuación 6

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

Donde:

ϵ =Deformacion

σ= Diferencia de la longitud final menos la longitud original

L_0 = Longitud original

- **Módulo de elasticidad**

Esta propiedad se calcula a base de los resultados de esfuerzo-deformación, siendo su unidad de medida el Gigapascal (GPa) siguiendo la norma ASTM D 3039, mediante la siguiente formula:

Ecuación 7.

$$E = \frac{esfuerzo}{\text{deformacion unitaria}} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

3.5.5. Análisis de Composición química.

La composición química del escobajo y fibra fueron analizados en el Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo. En este proceso de análisis se determinó el contenido nutricional de la concentración de los macroelementos de N, P, K además de la Materia orgánica (MO) para el cual se tomó 10 muestras preparadas de cada variable, estas a su vez fueron herméticamente selladas y debidamente rotuladas con un código único de la siguiente manera:

Tabla 6. Rotulado de muestras de fibra de escobajo y fruto.

N°	Escobajo	Fibra
	Código	Código
1	CNE1	CNF1
2	CNE2	CNF2
3	CNE3	CNF3
4	CNE4	CNF4
5	CNE5	CNF5
6	CNE6	CNF6
7	CNE7	CNF7
8	CNE8	CNF8
9	CNE9	CNF9
10	CNE10	CNF10

3.5.6. Análisis de concentración de metales pesados.

La concentración de metales pesados fue analizada en el laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo.

Los Metales Pesados que se analizaron fueron: plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr) y arsénico (As), para el cual se tomaron 10 muestras preparadas por cada variable, estas a su vez fueron herméticamente selladas y debidamente rotuladas con un código único de la siguiente manera:

Tabla 7. Rotulado para análisis de concentración de Metales Pesados

N°	Escobajo	Fibra
	Código	Código
1	MPE1	MPF1
2	MPE2	MPF2
3	MPE3	MPF3
4	MPE4	MPF4
5	MPE5	MPF5
6	MPE6	MPF6
7	MPE7	MPF7
8	MPE8	MPF8
9	MPE9	MPF9
10	MPE10	MPF10

3.6. Técnicas de procesamiento de datos.

El procesamiento de los datos se realizó en las siguientes etapas:

ETAPA 1. Compilación de datos.

Para compilar los datos de los resultados obtenidos de utilizo una Hoja de trabajo de Excel 2010 de software Office 2010, utilizando dos decimales con redondeo al anterior para los de contenido químico y 4 decimales para los metales pesados.

ETAPA 2. Análisis del comportamiento de los datos

Para determinar el comportamiento de los datos de efectuó las pruebas de normalidad empleando el estadístico Shapiro-Wilk, debido a que la cantidad de datos por muestras, son menores a 50, y se contrastó con un p_valor de 0,05; para lo cual se estableció la siguiente Hipótesis:

H_0: Los datos presentan una distribución normal

H_1: Los datos no presentas una distribución Normal.

Tabla 8**.** Pruebas de Normalidad de las propiedades mecánicas de la fibra del Escobajo.

Propiedades Mecánicas	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**
Capacidad Máx. (Kg)	0.9310	10	0.4577
Esfuerzo Máx. (Mpa.)	0.9226	10	0.3792
Módulo de Elasticidad (Pa)	0.9787	10	0.9579

Nota: P_valor trabajado es 0.05

En la tabla 9 se observa que el p_ valor (Sig.) encontrada es mayor con respecto al p_valor trabajado, por lo tanto, se acepta la Hipótesis Nula, en la que de todos los parámetros de propiedades mecánicas de la fibra del escobajo estudiados en la presente investigación presentan una distribución normal de datos.

Tabla 9. Pruebas de Normalidad para la composición química del Escobajo.

Contenido elemental del Escobajo	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	gl	Sig.
Humedad	0.612	10	0.000
Nitrógeno	0.926	10	0.412
Fosforo	0.898	10	0.207
Potasio	0.950	10	0.664
pH	0.943	10	0.585
Materia Orgánica	0.935	10	0.494

Nota: P_valor trabajado es 0.05

En la tabla 10 se observa que el p_ valor (Sig.) encontrada es mayor con respecto al p_valor trabajado, a excepción del parámetro Humedad que presenta un resultado menor del p_valor trabajado, por lo tanto, se acepta la Hipótesis Nula, en la que de todos los parámetros elementales estudiados en la presente investigación presentan una distribución normal, a excepción del parámetro Humedad.

Tabla 10. Prueba de Normalidad para concentración de metales pesados en Escobajo

Metales pesados en el Escobajo	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	gl	Sig.
Cadmio	0.911	10	0.289
Plomo	**0.869**	10	0.098
Mercurio*			
Níquel	0.883	10	0.143
Cromo	0.756	10	0.004
Arsénico	0,773	7	0.022

* Los resultados del Mercurio son constante, por lo tanto, se ha omitido.

En la tabla 11 se observa que los resultados del p_valor encontrado (Sig.) de los parámetros Cromo y Arsénico son menores al p_valor trabajado por lo tanto se recha la hipótesis Nula y ce acepta la Alternante en la que se sostiene que los datos no presentan una distribución normal. Mientras que los parámetros Cadmio, Plomo y Níquel son mayores a p_valor trabajado. Por consiguiente, se acepta la Hipótesis Nula, en la que sostiene que los datos si provienen de una distribución Normal. Con respecto al parámetro Mercurio, esta obtuvo un valor por debajo del valor mínimo de detección que es 0.001, por lo tanto, se ha omitido en la prueba de normalidad

Tabla 11 Prueba de Normalidad para las propiedades mecánicas de la fibra del fruto

Propiedades Mecánicas	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**
Capacidad Máx. (Kg)	0.8822	10	0.1384
Esfuerzo Máx. (Mpa.)	0.9059	10	0.2538
Módulo de Elasticidad (Pa)	0.9787	10	0.9579

Nota: P_valor trabajado es 0.05

En la tabla 12 se observa que el p_ valor (Sig) encontrada es mayor con respecto al p_valor trabajado, por lo tanto, se acepta la Hipótesis Nula,

en la que, de todos los parámetros de propiedades mecánicas estudiados de la fibra del fruto, en la presente investigación presentan una distribución normal de datos.

Tabla 12 Prueba de Normalidad para composición química de la Fibra.

Contenido elemental	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	**gl**	**Sig.**
Humedad	0.9576	10	0.7585
Nitrogeno	0.9139	10	0.3087
Fosforo	0.9261	10	0.4102
Potasio	0.9397	10	0.5499
pH	0.9443	10	0.6021
Materia Orgánica	0.9234	10	0.3857

Nota: P_valor trabajado es 0.05

En la tabla 13 se observa que el valor de la significancia encontrada es mayor con respecto al p_valor trabajado, por lo tanto, se acepta la Hipotesis Nula, en la que, de todos los parámetros elementales estudiados de la fibra en la presente investigación, presentan una distribución normal.

Tabla 13. Pruebas de Normalidad para la concentración de metales pesados en la Fibra.

Metales Pesado	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	gl	Sig.
Cadmio	0.8939	10	0.1875
Plomo	0.8180	7	0.0620
Niquel	0.8772	10	0.1211
Mercurio*		0	
Arsénico	0.9047	10	0.2467
Cromo	0.7809	10	0.0085

* Los resultados del Mercurio son constante, por lo tanto se ha omitido.

En la tabla 14 se observa que los resultados (Sig.) del parámetro Cromo es menor al p_valor dado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis Nula y se acepta la hipótesis Alternante en la que sostiene que los datos no vienen de una distribución normal. Mientras que los parámetros Cadmio,

Plomo, Níquel y Arsénico, son mayores a p_valor dado. Por consiguiente, se acepta la Hipótesis Nula, en la que sostiene que los datos si provienen de una distribución Normal. Con respecto al parámetro Mercurio, esta obtuvo un valor por debajo del valor mínimo de detección que es 0.001, por lo tanto, se ha omitido en la prueba de normalidad.

Tabla 14. Prueba de Normalidad de las propiedades mecánicas del Escobajo.

Propiedades	**Shapiro-Wilk**		
Mecánicas	Estadístico	gl	Sig.
Esfuerzo – deformación unitaria.	0.9315	10	0.4627
Módulo de elasticidad	0.9787	10	0.9579

Elaboración propia.

Los resultados que muestra la tabla 15, muestran que el p_valor (Sig) encontrado es mucho mayor a p_valor trabajado (p_valor=0.05) por lo tanto se define que los datos de las propiedades mecánicas del Escobajo tienen una distribución Normal.

Tabla 15. Prueba de Normalidad de las propiedades mecánicas de la Fibra.

Propiedades mecánicas	**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	gl	Sig.
Esfuerzo – deformación unitaria.	0.8822	10	0.1384
Módulo de elasticidad	0.9787	10	0.9579

Los resultados que muestra la tabla 16, muestran que el Sig encontrado es mucho mayor a Sig Trabajado (p_valor=0.05) por lo tanto se define que los datos de las propiedades mecánicas de la Fibra tienen una distribución Normal.

Fase 3. Determinación de Pruebas estadística.

Para el análisis de los resultados de cada muestra, se obtuvo una media y una desviación estándar de los datos para luego poder comparar las muestras entre sí, para ello se efectuó la prueba de comparación de medias de t de Student, para muestras independientes. (Ver Anexo. Tabla 25, 26 y 27)

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados del escobajo de palma

4.1.1. Propiedades mecánicas de la fibra del escobajo

Tabla 16. Valores de las propiedades mecánicas de la fibra del escobajo

N° Muestras	Capacidad Máx. (kg)	Esfuerzo Máx. (MPa)	Módulo de elasticidad (Pa)
1	2.56	113.61	706.93
2	1.56	69.43	608.87
3	2.12	96.41	903.07
4	2.15	93.27	824.61
5	1.54	72.99	863.84
6	2.26	107.55	785.39
7	2.50	106.24	706.93
8	3.47	157.72	736.35
9	3.30	146.34	638.29
10	4.05	192.37	540.22
Media	2.55	115.59	731.45

En la tabla 16 se observa que la capacidad de carga promedia que puede soportar la fibra de escobajo de palma es de 2.55 kg, con un esfuerzo máximo de 115.6 MPa y con un Módulo de elasticidad de 731.45 Pa.

4.1.2. Composición química de la fibra del escobajo.

Tabla 17. Valores de la composición química del escobajo (%).

N° Muestras	pH*	H° (%)	N (%)	P (%)	K (%)	MO (%)
1	7.83	16.32	1.38	3.51	4.46	26.86
2	7.86	16.3	1.41	3.55	4.44	26.9
3	7.81	16.32	1.35	3.6	4.46	26.92
4	7.83	16.5	1.35	3.58	4.41	26.82
5	7.78	16.33	1.36	3.55	4.44	26.88
6	7.79	16.32	1.45	3.52	4.5	26.86
7	7.83	16.55	1.41	3.52	4.48	26.86
8	7.85	16.31	1.41	3.55	4.42	26.91
9	7.83	16.32	1.38	3.6	4.46	26.86
10	7.8	16.32	1.4	3.53	4.42	26.88
Media	7.82	16.36	1.39	3.55	4.45	26.88

* El valor del pH es adimensional.

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos de la composición química de la fibra del escobajo de la palma aceitera en donde el nitrógeno, Fósforo y Potasio alcanzaron un valor promedio de 1.39 %, 3.55% y 4.45% respectivamente, por otra parte, se observa los valores físicos de humedad, pH y Materia orgánica con valores de 16.36%, 7.8 y 26.88% respectivamente.

4.1.3. Contenido de metales pesados de la fibra del escobajo.

Tabla 18. Concentración de metales pesados en escobajo de palma aceitera.

Muestras	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)
1	560.00	15.00	<0.001	31.00	11.00	7.00
2	610.00	16.00	<0.001	34.00	13.00	5.00
3	570.00	15.00	<0.001	32.00	<0.001	5.00
4	570.00	11.00	<0.001	39.00	11.00	6.00
5	600.00	14.00	<0.001	31.00	12.00	5.00
6	650.00	14.00	<0.001	31.00	<0.001	6.00
7	650.00	16.00	<0.001	37.00	<0.001	7.00
8	590.00	17.00	<0.001	34.00	14.00	7.00
9	610.00	15.00	<0.001	40.00	11.00	5.00
10	600.00	15.00	<0.001	37.00	11.00	5.00
Media	601.00	14.80	<0.001	34.60	11.86	5.80

* La variable mercurio no fue sometida a evaluación por registrar su valor por debajo del límite de detección del laboratorio. (<0.001)

En la presente investigación los valores del resultado de la concentración de metales pesados en la fibra de escobajo fueron los siguientes: Cadmio (601 ppm), Plomo (14.8 ppm), Mercurio (<0.001), Níquel (34.6 ppm), Arsénico (11.86 ppm) y Cromo (5.80 ppm).

4.2. Resultados de la Fibra del fruto de la palma Aceitera.

4.2.1. Propiedades mecánicas de la fibra del fruto.

Tabla 19. Valores de las propiedades mecánicas de la fibra del fruto de la Palma Aceitera.

N° Muestras	Capacidad Max. (kg)	Esfuerzo Máx. (MPa)	Módulo de elasticidad (Pa)
1	0.560	357.534	510.801
2	0.520	505.899	412.734
3	0.410	335.061	706.934
4	0.360	612.916	628.481
5	0.540	1103.248	667.707
6	0.440	642.102	589.254
7	0.580	515.204	510.801
8	0.550	488.556	540.221
9	0.330	143.448	442.154
10	0.320	145.284	344.088
Media	0.461	484.925	535.318

Con respecto a las propiedades mecánicas de la fibra del fruto de la palma aceitera se obtuvo los siguientes valores; la capacidad de carga máxima encontrada fue de 0.461 Kg, con Esfuerzo máximo de 484.93 MPa y un Módulo de elasticidad de 532.31 Pa. (ver tabla 19)

4.2.2. Resultados de composición química de la fibra del fruto.

Tabla 20. Valores de la composición química en la fibra del fruto.

N° Muestras	H° (%)	pH	N. (%)	P. (%)	K. (%)	MO. (%)
1	20.160	7.510	1.170	3.300	3.100	23.910
2	20.270	7.460	1.210	3.280	3.120	23.850
3	20.250	7.480	1.220	3.320	3.160	23.840
4	20.180	7.460	1.150	3.350	3.070	23.900
5	20.250	7.510	1.240	3.270	3.090	23.840
6	20.220	7.540	1.170	3.280	3.140	23.860
7	20.180	7.510	1.180	3.330	3.120	23.800
8	20.260	7.480	1.220	3.270	3.120	23.850
9	20.310	7.440	1.240	3.300	3.090	23.920
10	20.220	7.530	1.180	3.320	3.160	23.900
Media	20.230	7.492	1.198	3.302	3.117	23.867

En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos de la composición química de la fibra del fruto de la palma aceitera en donde el nitrógeno, Fósforo y Potasio alcanzaron un valor promedio de 1.19 %, 3.30% y 3.12% respectivamente, por otra parte, se observa los valores físicos de humedad, pH y Materia orgánica con valores de 20.23%, 7.5 y 23.87% respectivamente.

4.2.3. Contenido de metales pesados de la fibra del fruto.

Tabla 21. Valores del contenido metales pesados en la fibra del fruto.

Muestras	Cd (ppm)	Pb (ppm)	*Hg (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Cr (ppm)
1	430.00	11.00	<0.001	24.00	14.00	5.00
2	480.00	<0.001	<0.001	18.00	17.00	4.00
3	470.00	13.00	<0.001	21.00	16.00	4.00
4	480.00	12.00	<0.001	25.00	14.00	3.00
5	450.00	12.00	<0.001	24.00	14.00	4.00
6	410.00	<0.001	<0.001	24.00	12.00	4.00
7	450.00	11.00	<0.001	21.00	15.00	3.00
8	470.00	11.00	<0.001	23.00	16.00	3.00
9	470.00	<0.001	<0.001	17.00	14.00	3.00
10	430.00	13.00	<0.001	18.00	14.00	3.00
Media	454.00	11.86	<0.001	21.50	14.60	3.60

[*3] Los valores del Hg, estuvieron por debajo del límite de detección (LD <0.001) del equipo.

Los valores del resultado de la concentración de metales pesados en la fibra del fruto de la palma aceitera, fueron los siguientes: Cadmio (454 ppm), Plomo (11.9 ppm), Mercurio (<0.001), Níquel (21.5 ppm), Arsénico (14.6 ppm) y Cromo (3.60 ppm),

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La diferencia de la capacidad de carga entre la fibra del fruto y la fibra del escobajo difiere en una relación de 1:5, es decir la fibra del escobajo puede resistir un carga máxima 500% más que el de la fibra del fruto, este escenario puede darse debido a que la fibra del fruto previamente ha pasado por un proceso físico de variación de temperatura (cocción de la fruta) y luego por un proceso mecánico de molienda de la fruta para extraer el aceite, éstos proceso que tuvo que pasar la fibra posiblemente han afectado directamente con sus propiedades mecánicas; en contrario a la fibra del escobajo , ya que este fue sometido solamente a la variación de temperatura. Con respecto al esfuerzo y módulo de elasticidad las fibras estudiadas presentan diferencia estadísticas entre sí en los valores obtenidos, pero observando los valores obtenidos por (Apoveda, Bohórquez, Gonzales, Pertuz, & Rueda, 2019) en su estudio "Caracterización mecánica de la fibra de raquis obtenida de la palma africana elaeis guineensis" ellos tuvieron un módulo de elasticidad de 960 MPa y un esfuerzo de 110 MPa; comparando con lo resultados obtenidos, se aprecia en nuestro estudio que el Módulo de elasticidad alcanzo los 731 Pa. y 535 Pa. en fibra del fruto y fibra de escobajo respectivamente; sin embargo, con respecto al esfuerzo, la fibra del escobajo alcanzó un valor 110 MPa, la cual es ligeramente similar, aunque el valor (489.9 MPa) del esfuerzo de la fibra del fruto es sumamente mayor ya que encontraron los autores anteriormente nombrados. De igual manera se da comparando con los resultados de Mohamed, Sapuan, & Ismail (2009), en su investigación en "Propiedades de tracción de la fibra de racimo de fruta vacía de palma aceitera (OPEFB)", en donde obtuvo un esfuerzo de 71MPa y un módulo de elasticidad de 1073 MPa. comparando con los valores

de esfuerzo encontrado en nuestro estudio son diferentes en especial a la fibra del fruto, y de igual forma con respecto al módulo de elasticidad, los valores de nuestro estudio son menores, en ambos estudios utilizaron equipos con especialmente diseñados para medir fibras vegetales a comparación de nuestro estudio los análisis de propiedades mecánicas se desarrollaron en laboratorio de propiedades mecánicas de la madera de la universidad nacional de Ucayali cuyo valores mínimo de medición están expresados a nivel de centímetros.

Respecto a los parámetros del contenido nutricional de Nitrógeno (N_2). Talero, Rincón y Gonzales (2017) registraron para el escobajo 1.04% de N_2 y 0.01% de N_2 para la fibra. En nuestros resultados obtuvimos 1.39% de N para el escobajo y 1.19% de N para la fibra, siendo coincidentes con los valores del escobajo, pero no con la fibra. Quintero (2017) en su estudio realizado en Colombia obtuvo en escobajo y fibra los siguientes valores de N de 1.12% y 1.68%. respectivamente. Estos últimos resultados guardan similitud con los resultados de nuestra investigación.

Con respecto al K y al P en el escobajo se obtuvieron valores de 0.52% y 0.16%, respectivamente y en la fibra obtuvieron valores de 0.54% y 0.22%, respectivamente. En nuestro estudio los valores encontrados son mucho mayores, lo que demuestra que las concentraciones del contenido elemental de escobajo y la fibra son de mayor concentración con respecto a K y P, guardando similitud con respecto al N. Ramírez et al. (2011), afirman que el escobajo es un material rico en K y P, y en menor proporción en N.

En relación a la concentración de metales pesados, se registró una mayor concentración de Cd, seguido por el Ni, Pb y Cr, siendo en mayor proporción en el escobajo y menor en la fibra ya que en la prueba de T de studen realizada

mostro alta significancia estadística de diferencia entre las fibras. Con respecto al Arsénico (As.) en la fibra del fruto se registró una mayor concentración que en la fibra del escobajo. Los metales pesados estudiados tienen su origen en eventos naturales y por actividades humanas, debido a prácticas agronómicas no sostenibles, tales como el uso indiscriminado de herbicidas, fungicidas y fertilizantes químicos (Aikpokpodion, 2012).

La presencia de Cd en el suelo amazónico podría tener su origen en la formación de la cordillera de los Andes y estas a través de la escorrentía superficial llegaron a la llanura amazónica (Camilo, 2019). La mayor parte del tratamiento agronómico en esta región es a través del uso de fertilizantes sintéticos cuya composición es de la proporción Cd: P2O2 (Sánchez, 2016). La presencia de metales pesados en los tejidos vegetales, obedece a varios factores como la calidad del suelo, específicamente el que promueve la dinámica de estos metales es el nivel de acidez (pH), seguido por los óxidos como Fe y Mn, así como la MO y la Arcillas (Alloway, 2013). El Cd en su forma Iónica Cd2+ es fácilmente absorbido desde el suelo por las raíces de las plantas a través del sistema vascular de las mismas, siendo distribuido en toda la estructura de las plantas (Yadav 2010).

Con respecto al Ni se dice que es considerado como un micronutriente esencial para las plantas y que forman parte de su ciclo de vida y son irreemplazables, sin embargo su concentración en la mayoría de las plantas son bajas y oscila entre 0.5 a 10 ppm de peso seco, siendo que la presencia excesiva de este metal podría afectar seriamente el desarrollo de las plantas mostrando síntomas de marchitez y efectos negativos sobre la fotosíntesis (Chen et al., 2009); sin embargo, en nuestros resultados la presencia de Níquel fue de 34,60 +3,44 ppm para el escobajo y 21,50 +2,95 ppm para la fibra, lo que nos permite

sospechar que en las plantas de aceite de palma la concentración de este metal es mucho mayor .

En relación al Pb se conoce que en grandes concentraciones presenta afectaciones en el proceso fisiológicos de las plantas tales como imbibición, germinación y crecimiento de órganos como las raíces, tallos y hojas. Isaza (2013).

Con respecto al Cr, se dice que el rango normal de contenido de este metal en el suelo es de 0,1 ppm a 0,5 ppm y su rango de toxicidad oscila entre 5 y 30 ppm (Mahecha-Pulido, 2015) en nuestro estudio se registró 5,80 +0,92 ppm para el escobajo y 3,60 +0,70 ppm para la fibra, en ese sentido se observa que el escobajo presenta una ligera toxicidad por cromo.

En el Perú no se cuenta con una norma de límites máximos permisibles para fertilizantes orgánicos, sin embargo, para el presente estudio se comparó con las concentraciones máximas aceptables de metales pesados para fertilizantes orgánicos elaborados a partir de residuos sólidos de biomasa bajo la normativa de Estados Unidos, Unión Europea “EU”, Holanda, España, Australia y Japón (Gong et al., 2019). los valores encontrados para Cd en este estudio sobrepasaron todas las normativas internacionales, los valores de Ni sobrepasaron los límites de Clase A de España; en el caso de Cr, Pb y As, los valores fueron inferiores al límite máximo permisible de todas las normativas internacionales. (ver anexo tabla 22)

VI. CONCLUSIONES.

Luego de obtener los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Con respecto a las propiedades mecánicas se determinó que la fibra de escobajo obtuvo mayor capacidad de carga que la fibra de fruto; con respecto a la composición química se determinó que, ambas fibras tienen concentraciones de elementos nutricionales favorables para el crecimiento de las plantas de palma aceitera; asimismo con respecto a la concentración de metales pesados , no se registraron presencia de mercurio en ambas fibras, sin embargo la concentración de cadmio fue muy elevado en ambas fibras.
- Las propiedades mecánicas registradas para la fibra del escobajo fueron: capacidad máx. de 2.55 kg con un esfuerzo máximo de 115.6 MPa y un Módulo de elasticidad de 731 Pa; para la fibra del fruto fue lo siguiente; capacidad máx. de 0.46 kg kg con un esfuerzo máximo de 484.9 MPa y un Módulo de elasticidad de 535.3 Pascales
- Por cada 100 gramos de fibra se obtuvo la siguiente composición química: para fibra del escobajo fue, nitrógeno con 1.39%, Fósforo con 3.55% y Potasio con 4.45%, y para la fibra del fruto fue; nitrógeno con 1.19%, Fósforo con 3.30% y Potasio con 3.12%.
- Por cada 100 gramos de fibra, la concentración de metales pesados fueron lo siguiente, para la fibra del escobajo fue Cadmio (601 ppm), Plomo (14.8 ppm), Mercurio (<0.001), Níquel (34.6 ppm), Arsénico (11.86 ppm) y Cromo (5.80 ppm) y para la fibra del fruto fue, Cadmio (454 ppm), Plomo (11.9 ppm), Mercurio (<0.001), Níquel (21.5 ppm), Arsénico (14.6 ppm) y Cromo (3.60 ppm)

VII. SUGERENCIAS

Realizar investigaciones de propiedades mecánicas sometiendo la variable de estudio a escenario diferentes de temperatura y humedad, y medir con equipos con nivel mínimos de medición a nivel de micrómetros.

Se recomienda realizar estudios de concentración de metales pesados en el suelo, en áreas instaladas de plantaciones de palma aceitera en producción.

Realizar un estudio de concentración de metales pesado en tallos y hojas de las plantaciones de palma aceitera.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Abrahams, P. (2002). Suelos: sus implicacionse para la salud humana. *Sci total environ, 291*(3), 1-32.

Aidil, M., Hadibarata, T., & Sathishkumar, P. (2021). Residuos sólidos modificados de la industria de la palma de aceite como adsorbente potencial para la eliminación de plomo. *Química ambiental y ecotóxicología, 3*, 1-7. doi:https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.10.003

Aji, M., Wiguna, P., Karunawan, J., Lidia, A., & Sulhadi. (2017). Removal of Heavy Metal Nickel-Ions from Wastewaters Using Carbon Nanodots from Frying Oil. *Procedia Engineering*, 36-40. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.007

Amari, T., Ghnaya, T., & Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany, 111*, 99-110. doi:https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011

Anusavice, K. (2004). *Phillips, La ciencia de los materiales dentales.* España: Elsevier.

Anyaoha, K., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. (2018). Evaluación crítica de residuos sólidos de racimos de frutas frescas de palma aceitera como enmiendas del suelo: perspectivas y desafíos. *Recursos, conservación y reciclaje, 136*, 399-409. doi:https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.022

Apoveda, L., Bohórquez, O., Gonzales, O., Pertuz, A., & Rueda, Y. (2019). Mechanical characterization of the rachis fiber obtained from the African. *Journal of Physics: Conference Series, 1386*, 1-5. doi:doi:10.1088/1742-6596/1386/1/012051

Arcos, A., & Narro, L. (2009). *Manual de laboratorio: Calosa como herramienta de selección para tolerancia del maiz al aluminio.* Mexico: CIMMYT.

Ariza, J., Caparrós, S., & Alcalde, L. (2009). Subproductos en la fabricación de pastas. Autohidrólisis de las hemicelulosas. Obtenido de http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/328/b15296283-2.pdf?sequence=3

Avila, H. (1999). *iNTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .* MEXICO: EUMED.NET.

Azri, M., Abnisa, F., Wan, W., Abu, N., & Kheang, S. (2017). Una revisión de la torrefacción de residuos sólidos de palma aceitera para la producción de biocombustibles. *Conversión y gestión de energía, 149*, 101-120. doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.011

Babinszki, B., Jakab, E., Terjék, V., Sebestyén, Z., Várhegyi, G., May, Z., . . . Czégény, Z. (2021). Thermal decomposition of biomass wastes derived from palm oil production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 155*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105069

Barceló, J., & Poschenrieder, C. (1992). Respuestas de las plantas a la contaminacion por metales pesados. *Suelo y planta, 2*(1), 345-361.

Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2003). Fitorremediacion: Principios y perspectivas. *Contributions od science, 2*(3), 333-344.

Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los polimeros.* España: REVERTE.

Borobia, C. (2006). *Valoracion medica y jurídica de la incapacidad laboral.* Madrid: LA LEY.

Cabrera, E., Leon, V., Montano, A., & Dopico, D. (Diciembre de 2016). Characterization of agroindustrial residues with a view to its exploitation. *Centro Azucar, 43*(4), 27-35.

Carmenatti, J., Sarmiento, L., & Santos, R. (2005). *Las palmas como fuente de alimento para cerdos en el trópico.* Mérida: UADY.

Casey, J. (1990). *Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen I.* Mexico: Limusa.

Castells, B., Amez, I., Medic, L., & García-Torrent, J. (2021). Influencia de la torrefacción en la cinética de combustión de los desechos de la palma aceitera de Malasia. *Tecnología de procesamiento de combustible, 218*, 1-8. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106843

Castillo, F., Roldan, M., Huertas, M., Blasco, R., Caballero, F., Moreno, C., & Martinez, M. (2005). *Biotecnología Ambiental.* Madrid: Tébar.

Cespón, R. (2008). *Desarrollo de métodos analíticos automáticos para la determinación de metales en el medio ambiente laboral.* España: Universidad Santiado de Compostela.

COMEXPALMA. (Enero de 2019). Estadísticas de aceite de palma 2018. Mexico.

Cortés, C. (2009). Propiedades mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del Agave angustifolia Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del mezcal. Santa cruz, Mexico.

Dammert, J. (2014). Cambio de uso de suelos por agricultura a gran escala en la Amazonía Andina: el caso de la palma aceitera.

Demirbas, A. (2005). Bioetanol a partir de materiales celulósicos: un combustible de motor renovable a partir de biomasa. *Fuentes de energía, 27*, 327-337. doi:https://doi.org/10.1080/00908310390266643

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2021). *Explorador de cultivos, aceite, palma.* Obtenido de Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA): https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel_year=2021&rankby=Production

Falco, G., Nadal, M., Llobet, J., & Domingo, J. (2012). *Riesgo tóxico por metales presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria.* España: Ediciones Diaz de Santos.

FAO. (2014). *Portal de estadisticas de la FAO*.

FEDEPALMA. (2017). Perspectiva de negocios en el aprovechamiento energético de la tusa y la fibra de la agroindustria de palma de aceite en Colombia. Bogota, Colombia.

Forero, C., Cediel, A., Rivera, J., Suaza, A., & Sierra, F. (2012).) Estudio preliminar del Potencial energético de Cuesco de Palma y cascara de coco en Colombia. *Revista de la Facultad de Ingenieria, 8*(14), 19-25.

Friedrich, C. (2008). *Arte de ensayar con el soplete, cualitativa y cuantitativamente, los minerales, aleaciones y productos metalurgicos.* Madrid: M. Rivadeneyra.

Gamarra, L. (2015). Obtención de pulpa mecánica a partir de residuos de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.). *Xilema, 28*(1), 38-40.

Gamarra, L. (2016). APTITUD DE LAS FIBRAS DEL MESOCARPIO DE LA PALMA ACEITERA (Elaeis guineensis Jacq.) PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS FIBROCEMENTO. Lima, Lima, Perú.

Gañana, P., Zuluaga, R., Castro, C., & Osorio, A. (2017). Celulosa: un polimero de siempre con mucho fruto. *Rrevista Colombiana de Materiales* , 01-04.

Garcia, G. (2005). *Investigacion Comercial* (2 ed.). Madrid: ESIC.

Garcia, J., Garcia, M., & Das, K. (2008). Determination of Kinetic Parameters of Thermal degradation of palm oil mill by-products using thermogravimetric analysis and differential scanning calorrimetry. *Palmas, 29*(4), 31-45.

Gestion. (07 de Febrero de 2017). Palma Aceitera, cultivo que reforesta zonas arrasadas por la coca.

Goldman, L., Ausiello, D., & Schafer, A. (2016). *Tratando de medicina interna* (25 ed., Vol. 1). ESPAÑA: ELSEVIER ESPAÑA.

Gómez, A. (2008). *Pirolisis de biomasa: cuesco de palma de aceite.* Kassel University Press.

Gong, Q., Chen, P., Shi, R., Gao, Y., Zheng, A.A., Xu, Y., Shao, C., Zheng, X., 2019. Health assessment of trace metal concentrations in organic fertilizer in Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 1031. https://doi.org/10.3390/ijerph16061031

Hans, B., & Wolfgang, W. (1987). *Manual de Quimica organica.* España: Reverté.

Hasibuan, R., & Wan, W. (2004). Through Drying of Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB) Fiber Using Superheated Steam. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2*(1), 2027-2034.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4 ed.). MGH.

Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de materiales* (6 ed.). Mexico: Pearson Educación.

Idris, J., Shirai, Y., Anduo, Y., Mohd, A., Ridzuan, M., Ibrahim, I., . . . Ali, M. (2015). Rendimiento mejorado y mayor poder calorífico del biocarbón de la biomasa de palma aceitera con un tiempo de retención bajo bajo carbonización autosostenida. *Revista de producción más limpia, 104*, 475-479. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.023

IICA. (1983). *Guia técnica para el cultivo de Palma Africana (Elaeis guineensis Jacq.).* Nicaragua: IICA Biblioteca Venezuela.

Innovacion y Caulificacion S.L. (2018). *Iniciacion en materiales, productos y procesos textiles* (2 ed.). Malaga: IC Editorial.

Islam, E., Yang, X., He, Z., & Mahmood, Q. (2007). Evaluacion de la posible toxicidad alimentaria de metales pesados en cultivos seleccionados de hortalizas y alimentos. *Journal of Zhejiang University, 8*(1), 1-13. doi:10.1631 / jzus.2007.B0001

Jing, J., Soh, M., Sunarso, J., Yong, S., Doshi, V., & Bhattacharya, S. (2020). Gasificación de biomasa de palma aceitera torrefactada en un reactor de lecho fijo: efectos de los agentes gasificantes en las características del producto. *Revista del Instituo de Energía, 93*(2), 711-722. doi:https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.05.010

JUNPALMA. (2016). Estadistica de la Palma Aceitera al 2014. Lima, Lima.

Kabir, G., Din, M., & Hameed, B. (2017). Pirólisis de fibra de mesocarpio de palma aceitera y fronda de palma en un reactor de lecho fijo de calentamiento lento: un estudio comparativo. *Tecnología Ambiental, 241*, 563-572. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.180

Kheang, S. (2017). The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. *Eenergy Conversion and Management, 141*, 285-298. doi:https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.081

Kyrkby, E., & Romheld, V. (s,f). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones de absorcion y movilidad.

Leon, J. (2000). *Botanica de los cultivos tropicales* (3 ed.). San Jose, Costa Rica: Agroamerica.

Ley, K., Arniza, G., & Wan, R. (2007). Morphological and Chemical Nature of fiber Strands of Oil Palm Empty-Fruit-Bunch (OPEFB. *Bioresouces, 2*(3), 351-362.

Libby, C. (1974). *Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel* (Vol. II). Mexico: Mexico Continental.

Linares, E., Galeano, G., Garcia, N., & Figueroa, I. (2008). *Fibras Vegetales Utilizadas en Artesanias en Colombia.* Colombia: Artesanias de Colombia.

Lucana, D. (2008). Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica. Lima, Perú.

Mahidin, Saifullah, Erdiwansyah, Hamdani, Hisbullah, Hayati, A., . . . Bindar, Y. (2020). Análisis de energía a partir de residuos sólidos de aceite de palma

para plantas de energía de biomasa: un estudio de caso en la provincia de Aceh. *Quimiosfera, 253*, 1-10. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126714

Maschner, P. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants.* London: Academic Press.

Mat soom, R., Hasamudin, W., AGM, A., & Hassan, K. (Diciembre de 2006). Thermal Properties of Oil Palm Fibre, Cellulose and Its Derivatives. *Journal of oil palm, 18*, 272-277.

Mejia, M. (2012). Elaboracion de tableros aglomerados autoadheridos a partir de Fibra de raquis de Palma africana (Elaeis guineensis Jacq.). Quito, Ecuador.

Melo, V., & Cuamatzi, O. (2006). *Bioquimica de los procesos metabolicos.* Barcelona: Reverté.

Menon, N., Rahman, A., & Bakar, N. (2013). Evaluación de racimos de frutas vacías: mantillo en plantación versus combustible para la generación de electricidad. *Industria de la Palma de Aceite, 3*(2), 15-20.

Miranda, E. (2012). *Aprovechamiento y efecto del escobajo de palma aceitera (Elaeis guineensis, Jacq), como fuente orgánica en plantaciones de 7 años, en la producción de racimo fresco en el distrito de Campo Verde.* El Cid Editor.

Mohamed, M., Sapuan, S., & Ismail, N. (Noviembre de 2009). Tensile properties of single oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fibre. *Sains Malaysiana, 38*(4), 525-529.

Mora, W., & Ramón, B. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Ciencias Exactas de Fisica Natural, 41*(161), 479-489.

Morral, F., Molera, P., & Jimero, E. (1985). *Metalurgia general II* (Vol. 2). Barcelona: REVERTE.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de Maquinas* (4 ed.). Mexico: Pearson educación.

Namakforoosh, M. (2005). *Metodlogía de la invesigación* (2 ed.). Mexico: LIMUSA.

Oil word. (2019). *Highlights of this issue.*

Ordoñez, E., Azamar, J., Mata, E., Silván, O., & Pampillón, L. (2020). Potencial bioenergético y evaluación de la viabilidad técnica de los residuos del procesamiento de la palma aceitera: un estudio de caso de Jalapa, Tabasco, México. *Biomasa y bioenergía, 142*, 1-12. doi:https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105668

Ortiz, R., & Fernandez, O. (1994). *Cultivo de la Palma Aceitera, El* (1 ed.). San Jose: EUNED.

Parés, R., & Jaurés, A. (2002). *Bioquimica de los Microorganismos.* Barcelona: REVERTÉ.

Pazos, N. (2006). *Tecnología de los metales y procesos de manufactura.* Caracas: UCAE.

Perez, H., Vidal, J., & Marrugo, J. (2014). Evalución de la capacidad acumuladora de mercurio del aji (Capsicum annuum). *Revista de Salud Píblica, 16*(6), 897-909.

Pineda, L., & Jara, M. (2010). *Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones.* Bogota: Editorial Universidad del Rosario.

Quintero, L. (2017). Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar. Colombia.

Quiroz, J. (2006). *Caracteríaticas anatómicas, mecánicas y biomecanicas de Desmoncus orthacanthos Martius (Aracaceae) en dos condiciones naturales de crecimiento.* Merida, Mexico: CICY.

Ramirez, A. (2008). Intoxicacion ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina, 69*(1), 46-51.

Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. (1992). *Biología de las plantas* (Vol. 2). Madison: Reverté.

Rincon, A. (2006). *Factores de degradación y tecnología de rcuperación de praderas llanos orientales de Colombia* (2 ed.). Colombia: CORPOICA.

Rodríguez, L. (2014). Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano. Manizales, Colombia.

Rojas, F. (1989). *El cultivo de la Palma de Aceite* (2 ed.). Costa Rica: EUNED.

San Miguel, M. (1956). *Geoquimica de las aguas termales.* Madrid: Real Academia Nacional de Medicina.

Sanchez, R., Duran, H., Aguiar, L., Uribe, N., & Rojas, A. (2017). Modelo para la gasificación del cuesco de palma aceitera. *Revista de la Facultad de Ingeniería, 18*(36), 81-100.

Sarkar, N., Ghosh, S., Bannerjee, S., & Aikat, K. (Enero de 2012). Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Energia Renovable, 37*(1), 19-27. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.045

Shanker, A., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., & Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International, 31*(5), 739-753. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.02.003

Singh, H., Mahajan, P., Kaur, S., Batish, D., & Kohli, R. (2013). Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry letters, 11*, 229-254. doi:https://doi.org/10.1007/s10311-013-0407-5

Smith, W., & Hashemi, J. (Materiales). *Fundamentos de Ciencia e Ingenieria de* (4 ed.). Mexico: MGH.

SPDA. (Mayo de 2018). *Análisis Situacional de los principales commodities peruanos con riesgo a la deforestacion.* Lima. Obtenido de http://spdecodesarrollo.org/2018/05/analisis-situacional-de-los-principales-commodities-peruanos-con-riesgo-a-la-deforestacion/

Suksong, W., Tukanghan, W., Promnuan, K., Kongjan, P., Reungsang, A., Insam, H., & O-Thong, S. (2020). Producción de biogás a partir de efluentes de plantas de aceite de palma y racimos de frutas vacíos mediante digestión anaeróbica en estado sólido y líquido acoplado. *Tecnología Bioambiental, 296*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122304

Sumathi, S., Chai, S., & Mohamed, A. (Diciembre de 2008). Use of oil palm as a renewable energy source in Malaysia. Renewable and sustainable Energy Reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12*(9), 2404-2421. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.006

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiologia Vegetal* (3 ed.). (U. J. I, Ed.) Los Angeles: Sinauer Associates.

Talero, G., Rincón, S., & Gonzales, A. (2017). Torrefaction of Oil Palm (Elaeis guineensis) Empty Fruit Bunches and Fiber from the Colombian Eastern Plains. Measuring the Effect of Torrefaction Temperature on the Characteristics of Products. *Palmas, 38*(1), 27-47.

Tam, J., Vera, G., & Oliveros, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y Acción , 5*, 145-154.

Truckell, I., Shah, S., Baillie, I., Hallett, S., & Sakrabani, R. (2019). Factores de suelo y transporte en posibles sistemas de distribución de biofertilizantes derivados de residuos de molinos de aceite de palma en Malasia. *Informática y electrónica en la agricultura, 166*, 1-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105005

Turkdogan, M., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., & Uygan, I. (2002, Abril 2003). Metales pesados en el suelo, verduras y frutas en la región endémica de cáncer del tracto gastrointestinal superior de Turquía. *Science Direct, 13*(3), 175-179. doi:doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00156-4

Uke, A., Nakazono-Nagaoka, E., Chuah, J., Ahmad, N., Amir, H., Sudesh, K., . . . Kosugi, A. (2021). Efecto de la descomposición de las fibras del tronco de la palma aceitera sobre el crecimiento de las plantas y la composición de la comunidad microbiana del suelo. *Revista de gestion ambiental, 295*, 1-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113050

Uke, A., Nakazono-Nagaoka, E., Chuah, J., Ahmad, N., Amir, H., Sudesh, K., . . . Kosugi, A. (2021). Effect of decomposing oil palm trunk fibers on plant

growth and soil microbial community composition. *Journal of Environmental Management, 295*, 1-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113050

USACH. (s, f). *Departamento de Ingenieria Metalurgica.* Obtenido de https://metalurgia.usach.cl/sites/metalurgica/files/paginas/cap_1_el_ensayo_de_traccion_-_prof._alberto_monsalve.pdf

USM. (s, f). *Mechaniacl properties of polymers.* Obtenido de https://pslc.ws/spanish/mech.htm

Van, D. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Revista Palmas, 37*(1), 149-156.

Velasco, C. (2017). *Tension de rotura.* Obtenido de https://prezi.com/qzqunxbiegvr/tension-de-rotura/

Weng, Z., Kanchanatip, E., Hantoko, D., Yan, M., Su, H., Zhang, S., & Wang, G. (2020). Improving supercritical water gasification of sludge by oil palm empty fruit bunch addition: Promotion of syngas production and heavy metal stabilization. *Chinese Journal of Chemical Engineering, 28*(1), 293-298. doi:https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.08.004

Zevallos Rios, S. (2015). "Determinación del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma, en las Provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, Región Ucayali". Pucallpa, Ucayali, Perú. Obtenido de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/2229/000002071T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zheng, Y., Liu, Y., Hu, H., & He, J. (2008). Mercurio en suelos de tres estaciones experimentales agrícolas con fertilización a largo plazo en China. *Chemosphere, 72*(9), 1274-1278. doi:10.1016 / j.chemosphere.2008.04.052

IX. ANEXOS.

9.1. Fotografías de recolección y preparación de muestras.



Fotografía 1. Muestras de escobajo de palma aceitera en la fábrica Indolmasa



Fotografía 2. Recolección de la fibra del fruto de palma aceitera.



Fotografía 3. Pesado de muestras de escobajo.





Fotografía 4. Preparación de muestras de fibra y escobajo para laboratorio.



Fotografía 5. Rotulado de muestras de escobajo y fibra.



Fotografía 6. Rotulado de muestras de escobajo y fibra.

9.2. Resultados de Laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI / UNT

SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
MUESTRA	: ESCOBAJO
CÓDIGO DE MUESTRA	: ESCB – CN
TAMAÑO DE MUESTRA	: 300 gramos
PROCEDENCIA	: INDOLMA S.A.
FECHA DE INGRESO	: 24 DE SETIEMBRE DEL 2020
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS NUTRICIONAL DE MUESTRA

REPETICIÓN	HUMEDAD(%)	pH	NITRÓGENO(%)
R1	16.32	7.83	1.38
R2	16.30	7.86	1.41
R3	16.36	7.81	1.35
R4	16.50	7.83	1.35
R5	16.33	7.78	1.36
R6	16.32	7.79	1.45
R7	16.55	7.83	1.41
R8	16.31	7.85	1.41
R9	16.32	7.83	1.38
R10	16.32	7.80	1.40

**Espectrofotometría UV-VIS, para determinación de fósforo y potasio*
**Balanza de Humedad – PCE Ibérica, para determinación de humedad*
**Método de análisis Kjeldhal, para determinación de nitrógeno*
**Potenciómetro (pH – metro), para determinación de pH*

Ing. Carlos A. Walqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

949959632 / 933623974

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

REPETICIÓN	FÓSFORO(%)	POTASIO(%)	MATERIA ORGÁNICA(%)
R1	3.51	4.46	26.86
R2	3.55	4.44	26.90
R3	3.60	4.46	26.92
R4	3.58	4.41	26.82
R5	3.55	4.44	26.88
R6	3.52	4.50	26.86
R7	3.52	4.48	26.86
R8	3.55	4.42	26.91
R9	3.60	4.46	26.86
R10	3.53	4.42	26.88

•Espectrofotometría UV-VIS, para determinación de fósforo y potasio
•Balanza de Humedad – PCE Ibérica, para determinación de humedad
•Método de análisis Kjeldhal, para determinación de nitrógeno
•Potenciómetro (pH – metro), para determinación de pH

Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI / UNT

SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
MUESTRA	: ESCOBAJO
CÓDIGO DE MUESTRA	: ESCB – MP
TAMAÑO DE MUESTRA	: 300 gramos
PROCEDENCIA	: INDOLMA S.A.
FECHA DE INGRESO	: 24 DE SETIEMBRE DEL 2020
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS DE METALES PESADOS DE MUESTRA

REPETICIÓN	CADMIO(%)	PLOMO(%)	MERCURIO(%)
R1	0.056	0.0015	<0.001
R2	0.061	0.0016	<0.001
R3	0.057	0.0015	<0.001
R4	0.057	0.0011	<0.001
R5	0.060	0.0014	<0.001
R6	0.065	0.0014	<0.001
R7	0.065	0.0016	<0.001
R8	0.059	0.0017	<0.001
R9	0.061	0.0015	<0.001
R10	0.060	0.0015	<0.001

**Análisis por Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)*

LASACI DIRECCION

Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

REPETICIÓN	NÍQUEL(%)	ARSÉNICO(%)	CROMO(%)
R1	0.0031	0.0011	0.0007
R2	0.0034	0.0013	0.0005
R3	0.0032	<0.001	0.0005
R4	0.0039	0.0011	0.0006
R5	0.0031	0.0012	0.0005
R6	0.0031	<0.001	0.0006
R7	0.0037	<0.001	0.0007
R8	0.0034	0.0014	0.0007
R9	0.004	0.0011	0.0005
R10	0.0037	0.0011	0.0005

**Análisis por Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)*

Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI / UNT

SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
MUESTRA	: FIBRA DEL FRUTO
CÓDIGO DE MUESTRA	: FB – CN
TAMAÑO DE MUESTRA	: 300 gramos
PROCEDENCIA	: INDOLMA S.A.
FECHA DE INGRESO	: 24 DE SETIEMBRE DEL 2020
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS NUTRICIONAL DE MUESTRA

REPETICIÓN	HUMEDAD(%)	Ph	NITRÓGENO(%)
R1	20.16	7.51	1.17
R2	20.27	7.46	1.21
R3	20.25	7.48	1.22
R4	20.18	7.46	1.15
R5	20.25	7.51	1.24
R6	20.22	7.54	1.17
R7	20.18	7.51	1.18
R8	20.26	7.48	1.22
R9	20.31	7.44	1.24
R10	20.22	7.53	1.18

**Espectrofotometría UV-VIS, para determinación de fósforo y potasio*
**Balanza de Humedad – PCE Ibérica, para determinación de humedad*
**Método de análisis Kjeldhal, para determinación de nitrógeno*
**Potenciómetro (pH – metro), para determinación de pH*

Ing. Carlos A. Varilly Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

ANALISIS

REPETICIÓN	FÓSFORO(%)	POTASIO(%)	MATERIA ORGÁNICA(%)
R1	3.30	3.10	23.91
R2	3.28	3.12	23.85
R3	3.32	3.16	23.84
R4	3.35	3.07	23.90
R5	3.27	3.09	23.84
R6	3.28	3.14	23.86
R7	3.33	3.12	23.80
R8	3.27	3.12	23.85
R9	3.30	3.09	23.92
R10	3.32	3.16	23.90

*Espectrofotometria UV-VIS, para determinación de fósforo y potasio
*Balanza de Humedad – PCE Ibérica, para determinación de humedad
*Método de análisis Kjeldhal, para determinación de nitrógeno
*Potenciómetro (pH – metro), para determinación de pH

Ing. Carlos A. Vaquir Mendoza
DIRECTOR LASACI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION
LASACI

INFORME DE ANÁLISIS
LASACI / UNT

SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
MUESTRA	: FIBRA DEL FRUTO
CÓDIGO DE MUESTRA	: FB – MP
TAMAÑO DE MUESTRA	: 300 gramos
PROCEDENCIA	: INDOLMA S.A.
FECHA DE INGRESO	: 24 DE SETIEMBRE DEL 2020
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS DE METALES PESADOS DE MUESTRA

REPETICIÓN	CADMIO(%)	PLOMO(%)	MERCURIO(%)
R1	0.043	0.0011	<0.001
R2	0.048	<0.001	<0.001
R3	0.047	0.0013	<0.001
R4	0.048	0.0012	<0.001
R5	0.045	0.0012	<0.001
R6	0.041	<0.001	<0.001
R7	0.045	0.0011	<0.001
R8	0.047	0.0011	<0.001
R9	0.047	<0.001	<0.001
R10	0.043	0.0013	<0.001

**Análisis por Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)*

Ing. Carlos A. Valdivia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

LASACI

REPETICIÓN	NÍQUEL(%)	ARSÉNICO(%)	CROMO(%)
R1	0.0024	0.0014	0.0005
R2	0.0018	0.0017	0.0004
R3	0.0021	0.0016	0.0004
R4	0.0025	0.0014	0.0003
R5	0.0024	0.0014	0.0004
R6	0.0024	0.0012	0.0004
R7	0.0021	0.0015	0.0003
R8	0.0023	0.0016	0.0003
R9	0.0017	0.0014	0.0003
R10	0.0018	0.0014	0.0003

**Análisis por Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)*

Ing. Carlos A. Valqui Mendoza
DIRECTOR LASACI

9.3. LMP internacional análisis estadísticos y resultados.

Tabla 22.Concentraciones aceptables máximas para productos fertilizantes orgánicos

Región /País*	**Cr**	**Ni**	**As**	**Cd**	**Pb**
Estados Unidos (Washington)	-	210	20	10	150
UE enmienda en suelo	100	50	-	1	100
Holanda	50	20	-	1	100
España A	70	25	-	0,7	45
España B	250	90	-	2	150
España C	300	100	-	3	200
Australia	400	60	20	3	200
Japón	500	300	50	5	100
Estudio:					
Fibra de escobajo	5.8	34.6	11.86	601	14.8
Fibra del fruto	3.6	21.5	14.60	454	11.86

*Normativas de diferentes regiones y países (mg·kg-1). Tomado de Gong et al. (2019).

Tabla 23. Análisis de propiedades mecánicas de la fibra del escobajo

Sample ID	Sample No.	Ancho cm	Espesor cm	Área cm²	Capacidad Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm2)	MOE (Kgf/cm2)	Esfuerzo (Mpa)	MOE (Pa)
sobre 1	1	0.046	0.048	0.00221	2.56	1158.51	0.00721	113.6	706.9
sobre 1	2	0.046	0.048	0.00221	1.56	707.97	0.00621	69.4	608.9
sobre 1	3	0.045	0.048	0.00216	2.12	983.10	0.00921	96.4	903.1
sobre 1	4	0.047	0.048	0.00226	2.15	951.06	0.00841	93.3	824.6
sobre 1	5	0.043	0.048	0.00206	1.54	744.28	0.00881	73.0	863.8
sobre 1	6	0.043	0.048	0.00206	2.26	1096.68	0.00801	107.5	785.4
sobre 1	7	0.048	0.048	0.00230	2.50	1083.33	0.00721	106.2	706.9
sobre 1	8	0.045	0.048	0.00216	3.47	1608.33	0.00751	157.7	736.4
sobre 1	9	0.046	0.048	0.00221	3.30	1492.30	0.00651	146.3	638.3
sobre 1	10	0.043	0.048	0.00206	4.05	1961.68	0.00551	192.4	540.2

Tabla 24. Análisis propiedades mecánicas de la fibra del fruto

Sample ID	Sample No.	Ancho cm	Espesor cm	Área cm²	Capacidad Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm2)	MOE (Kgf/cm2)	Esfuerzo (Mpa)	MOE (Pa)
sobre 2	1	0.003	0.048	0.00015	0.56	3645.83	0.00521	357.5	510.8
sobre 2	2	0.002	0.048	0.00010	0.52	5158.73	0.00421	505.9	412.7
sobre 2	3	0.003	0.048	0.00012	0.41	3416.67	0.00721	335.1	706.9
sobre 2	4	0.001	0.048	0.00006	0.36	6250.00	0.00641	612.9	628.5
sobre 2	5	0.001	0.048	0.00005	0.54	11250.00	0.00681	1103.2	667.7
sobre 2	6	0.001	0.048	0.00007	0.44	6547.62	0.00601	642.1	589.3
sobre 2	7	0.002	0.048	0.00011	0.58	5253.62	0.00521	515.2	510.8
sobre 2	8	0.002	0.048	0.00011	0.55	4981.88	0.00551	488.6	540.2
sobre 2	9	0.005	0.048	0.00023	0.33	1462.77	0.00451	143.4	442.2
sobre 2	10	0.005	0.048	0.00022	0.32	1481.48	0.00351	145.3	344.1

Tabla 25. Prueba de T para propiedades mecánicas entre la Fibras de escobajo y Fruto de Palma aceitera.

Propiedades mecánicas	**Prueba de Levene de igualdad de varianzas**		**prueba t para la igualdad de medias**						
	F	Sig.	t	gl	Sig.*** (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Capacidad Máx. (Kg)	12.980	0.002*	7.974	9.272	0.000	2.090	0.262	1.500	2.680
Esfuerzo Máx. (Mpa.)	7.078	0.016*	-4.161	9.351	0.002	-369.332	88.758	-568.971	-169.692
Módulo de Elasticidad (Pa)	0.000	1.000**	3.797	18	0.001	196.133	51.655	87.611	304.655

* No se asumen varianzas iguales. ** si se asumen varianzas iguales. *** Altamente significativo a un P_valor trabajado de. 0.05

En la tabla 25 se observa que en nivel de significancia encontrado en la prueba T, “Sig bilateral” es menor a Sig Bilateral trabajado 0.002<0.05 por lo tanto se concluye que los valores promedios de las propiedades mecánicas de ambas fibras tiene alta diferencia estadísticas entre sí, es decir los valores de las propiedades mecánicas, no son iguales entre la fibra del escobajo y la fibra del fruto de la palma aceitera.

Tabla 26. Prueba de T de muestras independientes de Contenido nutricionales entre la Fibras de escobajo y Fibras de Fruto de Palma aceitera.

Parámetros de contenido nutricionales	**Prueba de Levene de calidad de varianzas**		**Prueba T para la igualdad de medias**						
			t	**gl**	**Sig. ** (bilateral)**	**Diferencia de medias**	**Diferencia de error estándar**	**95% de intervalo de confianza de la diferencia**	
	F	**Sig.***						**Inferior**	**Superior**
Nitrógeno	0.096	0.761	13.443	18	0.000	0.192	0.014	0.162	0.222

Fosforo	0.163	0.692	18.418	18	0.000	0.249	0.014	0.221	0.277
Potasio	0.007	0.934	101.499	18	0.000	1.332	0.013	1.304	1.360
pH	1.339	0.262	24.949	18	0.000	0.329	0.013	0.301	0.357
Materia Orgánica	1.453	0.244	195.712	18	0.000	3.008	0.015	2.976	3.040

* Se asumen varianzas iguales. ** Altamente significativo a un P_valor trabajado de. 0.05

En la tabla 26 se observa que en nivel de significancia encontrado en la prueba T "Sig bilateral" es menor a Sig Bilateral trabajado 0.000<0.05 por lo tanto se concluye que los valores promedios de la composición química de ambas fibras tienen alta diferencia estadísticas entre sí, es decir las concentraciones de contenido nutricionales no son iguales entre la fibra del escobajo y la fibra del fruto de la palma aceitera.

Tabla 27. Prueba de T de muestras independientes de parámetros de contenidos de metales pesados entre la Fibras de escobajo y Fibras de Fruto de Palma aceitera.

Parámetros de metales pesados	**Prueba de Levene de calidad de varianzas**		**Prueba t para la igualdad de medias**						
	F	Sig.**	t	gl	Sig***. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior	Superior
Cadmio	0.203	0.658	11.816	18	0.000	0.015	0.001	0.012	0.017
Plomo	0.566	0.464	4.336	15	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Mercurio*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	0.428	0.521	9.140	18	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002
Arsénico	0.138	0.715	-2.572	15	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000

Cromo	1.800	0.196	6.025	18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

* El elemento Mercurio no fue evaluado / ** Se asumen varianzas iguales. / *** Altamente significativo a un P_valor trabajado de. 0.05

En la tabla 27 se observa que en nivel de significancia encontrado en la prueba T, en donde el “Sig bilateral” es menor a Sig Bilateral trabajado 0.021<0.050, por lo tanto, las medias de contenido de metales pesados de ambas fibras tienen diferencias estadísticas entre sí, visualizándose una diferencia en concentración de metales en diferentes partes de la planta de palma aceitera.