UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

CAPACIDAD PRODUCTIVA DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA EN LA CONVERSIÓN DE ESTÍPITES DE *Elaeis guineensis* Jacq. (PALMA ACEITERA) DE RENOVACIÓN EN ASTILLAS, EN CAMPO VERDE – PUCALLPA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

ARTURO ARÉVALO ARAUJO

PUCALLPA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL.

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 452

En la ciudad de Pucallpa, siendo la 13:20 p.m. del día jueves 04 de mayo del 2023, de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestal y Ambientales, mediante el MEMO MULTIPLE 045-2023-UNU-FCFyA-CGT, conformada por los siguientes docentes.

Dr. Fermín Campos Solórzano.	Presidente
Eco. M.Sc. José Cárdenas Bernaola.	Miembro
Dra. María Angelica Flores Romayna.	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la Tesis denominada "CAPACIDAD PRODUCTIVA DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA EN LA CONVERSIÓN DE ESTÍPITES DE Elaeis guineensis Jacq. (PALMA ACEITERA) DE RENOVACIÓN EN ASTILLAS, EN CAMPO VERDE – PUCALLPA" presentado por el Bachiller ARTURO AREVALO ARAUJO, asesorado por el Dr. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS.
Finalizado la sustentación se procedió a la formulación de las preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por la sustentante; en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD** y con recomendación de publicación, quedando expedito para el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectiva a la tesis. Siendo las 14:27 p.m. del mismo día, se dio por finalizado el acto académico firmando los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Dr. Fermín Campos Solórzano
Presidente

Eco. M.Sc. José Manuel Cárdenas Bernaola
Miembro

Dra. María Angelica Flores Romayna
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniería Forestal.

Dr. Fermín Campos Solórzano ----------
Presidente

Dra. María Angelica Flores Romayna ----------
Miembro

Eco. M.Sc. José Manuel Cárdenas Bernaola ----------
Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas ----------
Asesor

Bach. Arturo Arévalo Araujo ----------
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº V/0190-2023.

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado: "**CAPACIDAD PRODUCTIVA DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA EN LA CONVERSIÓN DE ESTÍPITES DE Elaeis guineensis Jacq. (Palma aceitera) DE RENOVACIÓN EN ASTILLAS, EN CAMPO VERDE - PUCALLPA**"

Autor(es)	:	**Arévalo Araujo, Arturo**
Facultad	:	**Ciencias Forestales y Ambientales**
Escuela	:	**Ing. Forestal**
Asesor(a)	:	**Dr. Salvador Cárdenas, Manuel Iván**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud 8%.**

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 se sella la presente constancia

Fecha: 31/03/2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI Dirección General de Producción Intelectual

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, ARTURO AREVALO ARAUJO

Autor de la TESIS titulada:

" CAPACIDAD PRODUCTIVA DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA EN LA CONVERSIÓN DE ESTIPITES DE Elaeis guineensis Jacq. (PALMA ACEITERA) DE RENOVACION EN ASTILLA, EN CAMPO VERDE - PUCALLPA"

Sustentada el año: 2023

Con la asesoría de: Dr. MANUEL IVAN SALVADOR CARDENAS

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERIA FORESTAL

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 estudios Superior Universitaria y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 04 / 05 / 2023

Email: darevalo617@gmail.com

Firma:

Teléfono: 976031490

DNI: 71982350

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo para ser de mí una mejor persona, a mi esposa, por su amor, su apoyo y confianza en el tiempo necesario para realizarme profesionalmente y poder lograr mi objetivo.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia

A mis padres

A esposa,

A mi asesor Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, por su apoyo, comprensión constante incondicional a lo largo del desarrollo de esta tesis

A mi co-asesor JORGE AUGUSTO ALENCAR VELA por su apoyo incondicional a lo largo de este proyecto.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA ……vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE DE CONTENIDO viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
RESUMEN xii
ABSTRACT xiii
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 5
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA. 5
2.1.1. Antecedentes Internacionales 5
2.1.2. Antecedentes Nacionales 8
2.1.3. Antecedentes Locales 9
2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO. 100
2.2.1. Taxonomía de la Especie *Elaeis guineensis* Jacq. 100
2.2.2. Aspecto Ambiental. 133
2.2.3. Tecnologías disponibles en astillado y/o triturado de biomasa 14
2.2.4. Rendimiento productivo de las maquinas astilladoras 17
2.2.5. Capacidad de producción……18
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS. 20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA. 22
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN. 22
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA. 22
3.2.1. Población. 22
3.2.2. Tamaño de la muestra 22
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS. 23
3.3.1. Técnicas. 23
3.3.2 Instrumentos. 23
3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS 23
3.4.1 Descripción de la maquina astilladora……..23
3.4.2. Obtención de muestras……..…….…25

3.4.3 Tumbado……...25
3.4.4. Partido longitudinal del estípite……...26
3.4.5 Astillado de estípites……27
3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS. 28
3.5.1. Estimación del volumen rollizo promedio de los *estípites de* Palma aceitera de renovación. 28
3.5.2. Determinación del factor de conversión de volumen a estéreos…….28
3.5.3. Estimación de la capacidad instalada de una astilladora mecánica, en la producción de astillas. 29
3.5.4. Estimación de la capacidad efectiva de una astilladora mecánica, en la producción de astillas de estípites. 29
3.5.5. Determinación de la eficiencia de la maquina astilladora de estípite. 30
3.5.6. Estimación de la capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica en la producción de astillas. 30
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS. 31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 32
4.1. VOLUMEN ROLLIZO PROMEDIO DE LOS ESTÍPITES DE *Elaeis guineensis* Jacq. (PALMA ACEITERA) DE RENOVACIÓN. 32
4.2. FACTOR DE CONVERSIÓN ENTRE EL VOLUMEN REAL (COMPACTO) DEL ESTIPITE COMPACTO Y EL VOLUMEN APARENTE DE LAS ASTILLAS DE *Elaeis guineensis* Jacq. (PALMA ACEITERA) DE RENOVACIÓN. 33
4.3. CAPACIDADES PRODUCTIVAS DE UNA ASTILLADORA MECANICA 34
4.3.1 CAPACIDAD INSTALADA, EN LA PRODUCCIÓN DE ASTILLAS DE PALMA ACEITERA 34
4.3.2.CAPACIDAD EFECTIVA DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE ASTILLAS DE ESTÍPITES 35
4.3.3.CAPACIDAD NO UTILIZADA DE UNA ASTILLADORA MECANICA 37
4.3.4. CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE UNA ASTILLADORA MECÁNICA 38
4.4. EFICIENCIA PRODUCTIVA DE UNA ASTILLADORA MECANICA 41
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 42
5.1. CONCLUSIONES 42
5.2. RECOMENDACIONES. 43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45
ANEXO 49

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Aspectos agroecológicos de palma aceitera……..… 13

Tabla 2. Volumen promedio de los estípites de palma aceitera de renovación……. 33

Tabla 3. Factor de conversión de 1m³ y 1 tonelada de estípite compacto a estípite astillado……. 34

Tabla 4. Capacidad instalada por hora y jornada de trabajo de una astilladora mecánica……. 35

Tabla 5. Capacidad de producción efectiva de una astilladora mecánica por hora y por jornada de trabajo……. 37

Tabla 6. Capacidad no utilizada de una astilladora mecánica de estípites…….. 38

Tabla 7. Eficiencia productiva de una astilladora mecánica de estípites…….. 40

Tabla 8. Capacidad de procesamiento de un astilladora mecánica…… 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Tiempo de retardo y tiempos muerto…… 20

Figura 2. Técnico de Cite Forestal técnico Teodorico retirando la cuchilla y evaluando el filo. (Alencar & Reyes, 2020)…… 24

Figura 3. Retirado de Cuchilla de la maquina astilladora (Alencar & Reyes, 2020)…….. 25

Figura 4. Ubicación de la parcela de palma aceitera; Fuente Google earth….. 25

Figura 5. Partido de las palmas aceiteras hasta la dimensión que pueda entrar en la maquina astilladora…….. 26

Figura 6. Partido de las palmas aceiteras hasta la dimensión que pueda entrar en la maquina astilladora…… 27

Figura 7. Astillado de los estípites de palma aceitería seleccionados…… 28

Figura 8. Relación entre el diámetro basal y el volumen de los estípites de palma aceitera de renovación y volumen promedio…….. 33

Figura 9. Factor de conversión de un metro cubico compacto a volumen astillado…….. 34

Figura 10. Capacidad instalada de la maquina astilladora se estípites….. 36

Figura 11. Capacidad de producción efectiva promedio por jornada de trabajo. 37

Figura 12. Capacidad no utilizada de una astilladora mecánica de estípites….. 39

Figura 13. Numero de estípites que es procesado por jornada de trabajo…….. 41

Figura 14. Volumen rollizo de estípites que es procesado por jornada de trabajo…… 42

RESUMEN

La especie ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma aceitera) al completar su ciclo productivo entre 25-30 años y por las dificultades de cosecha por su altura, se tiene que realizar la renovación de las plantaciones, mediante tala y quema o aplicación de químicos sistémicos. Esta situación indujo a realizar un trabajo de investigación que tuvo como objetivo principal determinar la capacidad productiva de una astilladora mecánica en la conversión de estípites en astillas en Campo Verde – Pucallpa. La metodología empleada fue de tipo descriptiva, los ensayos se llevaron a cabo en el km 47 de la carretera Federico Basadre, margen derecha, interior 7 kilómetros en el Distrito de Campo Verde – Ucayali, procesando 37 estípites de palma aceitera de renovación, para ello la palma de renovación fueron tumbados y partidos para luego astillarlas. Los resultados ponen en evidencia que el volumen promedio por estípite de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) fue de 5.01 m^3, el factor de conversión de 1 m^3 de estípite compacto o rollizo en el proceso de astillado es 3.54 estéreos (m^3st) de astillas, un estéreo o un m^3st de astilla húmeda pesa alrededor de 253.1 kg. La capacidad instalada por jornada de trabajo de la astilladora mecánica Bandit 1590 X fue de 1154.435 estéreos por jornada de trabajo (292 187.57 kg/jornada), la capacidad de producción efectiva promedio alcanzo un valor de 73.377 estéreos (m^3st) por hora ó 587.02 estéreos por jornada de trabajo, la capacidad ociosa o no utilizada de la astilladora mecánica tuvo un valor promedio de 567.416 estéreos por jornada de trabajo. La eficiencia productiva promedio de la astilladora mecánica fue de 50.8% de la capacidad instalada y la capacidad de procesamiento de la astilladora mecánica por jornada de trabajo es en promedio 32.4 estípites de palma aceitera o de 164.9 m^3 de estípites compactos por jornada de trabajo.

Palabras clave: Astilladora, astilla, trituradora, estípite, palma aceitera, producción, productividad y sistema productivo.

ABSTRACT

The species Elaeis guineensis Jacq. (Oil palm) when completing its productive cycle between 25-30 years and due to the difficulties of harvesting due to its height, the plantations must be renewed, through slash and burn or application of systemic chemicals. This situation induced to carry out a research work whose main objective was to determine the productive capacity of a mechanical chipper in the conversion of stipes into chips in Campo Verde -Pucallpa. The methodology used was of a descriptive type, the tests were carried out at km 47 of the Federico Basadre highway, right margin, interior 7 kilometers in the District of Campo Verde - Ucayali, processing 37 renewal oil palm stipes, for this the renewal palm were knocked down and broken and then chipped. The results show that the average volume per stipe of Elaeis guineensis Jacq. (oil palm) was 5.01 m^3, the conversion factor of 1 m^3 of compact or round stipe in the chipping process is 3.54 stereos (m^3st) of chips, one stereo or one m^3st of wet chips weighs around 253.1 kg. The installed capacity per working day of the Bandit 1590 X mechanical chipper was 1154,435 stereos per working day (292 187.57 kg/day), the average effective production capacity reached a value of 73,377 stereos (m^3st) per hour or 587.02 stereos per working day, the idle or unused capacity of the mechanical chipper had an average value of 567,416 stereos per working day. The average productive efficiency of the mechanical chipper was 50.8% of the installed capacity and the processing capacity of the mechanical chipper per working day is an average of 32.4 stems of oil palm or 164.9 m^3 of compact stems per working day.

Keywords: Chipper, chips, crusher, stipe, oil palm, production, productivity and production system.

INTRODUCCIÓN

La región Ucayali está posicionada a nivel agrícola con la mayor plantación en hectáreas de palma aceitera, pues posee 50 000 has de las 86 000 a nivel del país, según la gerencia regional de Desarrollo Económico y Social en el 2018. El distrito de Neshuya, Provincia de Padre Abad, de la Región Ucayali no es ajeno al tema de las plantaciones de palma aceitera, pues la economía actual gira sobre la base del cultivo de la Palma Aceitera. (Rivera, 2019)

La especie ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma aceitera) al completar su ciclo productivo entre 25-30 años y por las dificultades de cosecha por su altura, se tiene que realizar la renovación de las plantaciones, ya que el rendimiento disminuye y la cosecha es costosa; sometiéndose muchas de ellas al proceso de renovación mediante la práctica de tala y quema o aplicación de químicos sistémicos, además representa un riesgo para la salud del palmicultor.

La renovación de las ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma aceitera) genera abundante biomasa compuesta de hojas y estípites por hectárea, que muy bien podría transformarse en bio-abonos o abonos orgánicos, sin embargo, ello requiere que la biomasa sea transformada en partículas o astillas para su mejor manejo y su rápida biodegradación. Esta actividad conlleva a contar con medios mecanizados o maquinaria como trituradora o astilladora; esta situación motivó alquilar un equipo forestal - Astilladora de madera Bandit 1590 XP de 160CV, turbo diésel con motor marca Caterpillar de propiedad del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), de esta manera poder llevar adelante un trabajo de investigación.

Frente a esta situación se vio por conveniente realizar un trabajo de investigación sobre conversión de estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (PALMA ACEITERA) de renovación en astillas, en la ciudad de Campo Verde y contribuir con una metodología para la reducción de la biomasa no aprovechada, y de esta manera ser incorporados fácilmente a los suelos agrícolas, por estas razones el objetivo general es: Determinar la capacidad productiva de una astilladora mecánica en la conversión en astillas de estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma Aceitera) de renovación, en Campo Verde – Pucallpa y a su vez los objetivos específicos son: Estimar el volumen rollizo promedio de los estípites de ***Elaeis***

guineensis Jacq. (palma aceitera) de renovación; Determinar el factor de conversión entre el volumen real (compacto) y el volumen aparente de las astillas de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma Aceitera) de renovación; Estimar la capacidad instalada, la capacidad efectiva, la capacidad no utilizada y la capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica, en la producción de astillas de los estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma Aceitera) de renovación y; Estimar la eficiencia productiva de la astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma Aceitera) de renovación.

El presente trabajo de investigación contiene cinco capítulos. El capítulo I está referido al planteamiento del problema y considera la formulación del problema, la justificación y los objetivos de la investigación; el capítulo II se refiere al marco teórico el cual contempla los antecedentes del problema, el planteamiento teórico del problema y la definición de términos básicos; el capítulo III considera la metodología de la investigación donde se describe el método de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procedimiento9s para la recolección de datos, procesamiento de datos y tratamiento de datos. En el capítulo IV se presenta los resultados y discusión de la investigación, entre ellos el volumen rollizo promedio de los estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma aceitera) de renovación, factor de conversión del estípite compacto a volumen astillado de ***Elaeis guineensis*** Jacq. (Palma aceitera) de renovación, capacidades productivas de una astilladora mecánica y eficiencia productiva de una astilladora mecánica y finalmente el capítulo V considera las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

En el Perú y en especial en la región de Ucayali el crecimiento de áreas instaladas del cultivo de Palma Aceitera se ha incrementado de manera significativa; por un lado los agricultores organizados fueron beneficiarios de proyectos productivos que incentivaron el fomento mediante programas del estado y el otro escenario, la inversión privada que viene instalando nuevas y extensas áreas con inversión extranjera, aplicando innovación tecnológica de acuerdo a las exigencias del cultivo y eficiencia en la mano de obra por hectárea. (Tello, 2018)

En este contexto, Rivera (2019) comenta que la región Ucayali está posicionada a nivel agrícola con la mayor plantación en hectáreas de palma aceitera, pues posee 50 000 has de las 86 000 a nivel del país, según la gerencia regional de Desarrollo Económico y Social en el 2018. El distrito de Neshuya, Provincia de Padre Abad, de la Región Ucayali no es ajeno al tema de las plantaciones de palma aceitera, pues la actual económica gira en base al cultivo de la Palma Aceitera.

Al completar su ciclo productivo entre 25-30 años y por las dificultades de cosecha por su altura, se realiza la renovación de las plantaciones, ya que el rendimiento disminuye y la cosecha es costosa; siendo muchas de ellas están en proceso de renovación mediante la práctica de tala y quema o aplicación de químicos sistémicos, además representa un riesgo para la salud del palmicultor.

Sin embargo, las alternativas de uso de la biomasa de la palma de aceite, específicamente del tronco o estípite, que se obtienen de la renovación, se orientaron en el presente estudio a la productividad y eficiencia de una astilladora en la eliminación de estípites enfermos; lo cual busca contribuir con información en lo relacionado a la obtención de astillas extraídas del estípite de la palma de aceite; para lo cual se platearon las siguientes interrogantes:

Problema general.

¿Cuál es la productividad y eficiencia de una astilladora en la conversión del estípite de ***Elaeis guineensis*** Jacq (Palma aceitera) en astillas en Campo Verde – Pucallpa?

Problemas específicos:

¿Cuál será la capacidad instalada de una astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq (Palma Aceitera) de renovación?

¿Cuál será la capacidad de producción de una astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq (Palma Aceitera) de renovación?

¿Cuál será la capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites de ***Elaeis guineensis*** Jacq (Palma Aceitera) de renovación?

¿Cuál será el factor de conversión entre el volumen real (compacto) y el volumen aparente de las astillas de ***Elaeis guineensis*** Jacq (Palma Aceitera) de renovación?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes Internacionales

De La Cerda (2014) indica en su invesigación “Diseño, implementación y post-evaluación de un servicio de triturado de biomasa a partir de desechos forestales”; el cual tuvo como objetivo principal identificar las brechas entre la evaluación de este proyecto y la realidad, para así presentar recomendaciones para el proyecto en cuestión o proyectos futuros del mismo tipo. La metodologia consistió en identificar brechas, para identificar las variables operativas principales del negocio, es decir volumen de producción, rendimientos productivos, consumos de petróleo, disponibilidad mecánica de los equipos (Uptime) y tiempos perdidos por falta de camión, y se comparó cada una de ellas, estimando su impacto en el valor presente neto y la tasa interna de retorno de la evaluación como la realidad. Con solo disminuir de 4,5 a 3 horas la falta de camión, se lograría llegar a un VAN de US 524.917 y TIR 16,12%.

A modo de conclusión, se estima que los principales errores cometidos en este proyecto fue haber subestimado la sensibilidad logística del sistema productivo, toma de decisiones erróneas al no invertir en los carros de camión adicionales evaluados y no analizar en conjunto con el cliente y el prestador de servicio de transporte una solución integral de la cadena logística de producción transporte y recepción. (De La Cerda, 2014)

Jaramillo, (2005) postula en su investigación “Evaluación técnica y económica de Sistema de astillado en bosque de ***Eucalyptus sp***. ”; el cual tuvo como objetivo general de este estudio, efectuar una evaluación técnica y económica de un sistema de cosecha y astillado en bosque de ***Eucalyptus sp***, el cual incorpora un equipo desrramador – descortezador y astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G. Los costos se calcularon según metodología utilizada por Forest Engineering Research

Institute of Canada (FERIC), se incluyen costos fijos, costos variables y costos de mano de obra.

El estudio de tiempos y rendimientos se analiza clasificando las demoras del equipo dentro de cada subsistema en demoras inferiores a 10 minutos y demoras totales, las cuales incluyen las demoras menores y mayores a 10 minutos. Los rendimientos calculados por hora planificada para el subsistema de volteo son 106.5 m3/HrPl y 84.8 m3/HrPl respectivamente, para el subsistema de madereo 47.9 m3/HrPl y 31.2 m3/HrPl, para el subsistema de astillado 22.2 m3/HrPl y 17.4 m3/HrPl y para el subsistema de transporte 4.9 m3/HrPl. El costo horario del sistema se calcula de acuerdo a metodología aplicada por FERIC y se determina en 343.25 US$/HrPl, el que incluye costos de propiedad de la maquinaria, los costos operacionales y de mano de obra directa. El subsistema con mayor participación en el costo total horario, es el subsistema de astillado con un 42.36% (145.41 US$/HrPl). El estudio de costos determina un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 20.88 US$/m3 para rendimientos planificados que incluyen solo las demoras inferiores a 10 minutos registradas.

El estudio de costos determina un costo unitario total del sistema de cosecha y astillado de 23.59 US$/m3 para rendimientos planificados que incluyen el total de demoras registradas, obteniéndose de esta manera una diferencia de 2.71 US$/m3 dependiendo de la eliminación de las demoras operacionales mayores a 10 minutos (Jaramillo, 2005).

Ling-Hoak, (2005) propone en su investigación “Pulverización de la palma en la replantación sostenible de palma aceitera”, el cual tuvo como objetivo determinar la pulverización de la palma en la replantación sostenible de palma aceitera. Tres nuevos métodos sin quemar para limpiar las palmas de aceite viejas para la replantación mediante los cuales casi todas las palmas se pulverizan en trozos finos de menos de 0,1 g de peso seco cada uno y se distribuye ampliamente por todo el campo y la masa de raíces desenterrada en la tala. Más del 50% de la biomasa de palma

pulverizada se descompuso a las 24 semanas después de la pulverización, que aumentó al 80% en el 56th semana.

También tienen un buen potencial para reducir la rata y Ganoderma boninense problemas de enfermedades. Además, los nuevos métodos de desmonte redujeron el período de barbecho, facilitaron la replantación y el posterior trabajo de mantenimiento del campo, y mejoraron la utilización de los nutrientes liberados por la biomasa de palma en descomposición por las palmas recién replantadas. Los métodos de limpieza de palmas de aceite viejas para la replantación son menos contaminantes para el medio ambiente y también mejoran la sostenibilidad de las plantaciones de palma de aceite (Ling-Hoak, 2005).

Mosquera (2009) plantea en su investigación “Consideraciones sobre erradicación de palma de aceite en Colombia”, el cual tuvo como objetivo Erradicar palmas de aceite; el cual puede ser una decisión que se tome por razones sanitarias (una plaga que las afecte) o porque la altura alcanzada por la oleaginosa a cierta edad impide a los cosecheros hacer bien su labor, o porque ya existen materiales nuevos con mayores rendimientos.

En cualquier caso, el impacto sobre el flujo de caja de la compañía es bastante importante. Este artículo presenta varios métodos de erradicación y resiembra de palmas que han sido utilizados en el mundo palmero considerando sus ventajas y desventajas. Concluye que los métodos en los cuales los troncos y las hojas del cultivo antiguo se incorporan a los suelos son económicamente viables, y permiten mejorar problemas de diseño de la plantación anterior y características físicas y químicas indeseables de los suelos, como la compactación y la acidez. (Mosquera, 2009)

Preethi, (2019) sostiene en su investigación “Cucharón para astillado: un enfoque nuevo y factible para la fragmentación de la palma de aceite Maletero, el cual tuvo como objetivo reducir el costo de eliminación a través de la creación del método del cucharon para astillado. El método del cucharón de astillado minimizó efectivamente el costo de la limpieza de la tierra en un 24% en comparación con la práctica existente seguida por los agricultores. Para estimar el costo de limpieza por unidad de palma, se

derivó una ecuación utilizando la altura de la palma y el tiempo de astillado. La ecuación obtenida fue validada para significantes R2 valor (0,923).

La ecuación así derivada ayudaría tanto a los agricultores como a los operadores de excavadoras a estimar el costo del desmonte para las plantaciones de palma aceitera en pie. Esta máquina redujo efectivamente el costo de eliminación del tronco de 1,54 a 1 vez en comparación con el método de limpieza de terrenos existente. (Preethi, 2019)

Sandoval (2004) plantea en su investigación “Aprovechamiento de una planta astilladora en la Décima Región”, el cual tuvo como objetivo determinar el aprovechamiento de una planta astilladora en la Décima Región.

En donde como parte de la metodología se estudió el aprovechamiento de madera rolliza en una planta astilladora estándar que opera con madera proveniente del manejo de bosques naturales de la Décima Región (Chile). Los resultados indican un aprovechamiento de 93,6% para rollizos de 1 a 1,22 m de largo y de diámetro inferior a 40 cm, 92,7% para rollizos de 2,44 m de largo y diámetro inferior a 40 cm, y un 85,3% para rollizos previamente partidos o de 2,44 m de largo y diámetro superior a 40 cm. Las principales pérdidas de volumen con relación a la madera rolliza ingresada a la planta corresponden al proceso de descortezado, seguido de pérdidas en el proceso de dimensionamiento de rollizos de más de 40 cm de diámetro (Sandoval, 2004).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cipra (2020) considera en su investigación “Evaluación de Tableros MDF Producidos con Residuos de Madera de Bolaina Blanca (***Guazuma Crinita*** Mart.) proveniente de una Plantación Forestal”; el cual tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de fibras de densidad media (MDF) producidos con dos tipos de pulpa: mecánica (RMP) y químico-mecánica (CMP); y dos tipos de resina: Úrea Formaldehído (UF) y Emulsión de Polímero de Isocianato (EPI) a partir de residuos de madera de bolaina blanca (***Guazuma crinita*** Mart.)

proveniente de una plantación forestal de árboles de edades variables entre 5 y 8 años. Para la producción de pulpa, se sometieron a las astillas de madera a un retratamiento de remojo en agua para la obtención de RMP; y en hidróxido de sodio al cinco por ciento (NaOH/ pulpa seca (m/m)) para CMP, ambos durante 24 horas. Los resultados mostraron que es factible elaborar tableros MDF con residuos de madera con un alto porcentaje (95%) de madera juvenil y bajo porcentaje (5 %) de corteza de bolaina blanca. Entre las resinas estudiadas, la EPI en los tableros MDF obtuvo mejores propiedades físicas y mecánicas que los fabricados con la UF. Tanto la RMP como la CMP tuvieron similar desempeño en los tableros MDF. Las mejores propiedades se encontraron en los tableros RMP-EPI, y CMP-EPI. (Cipra, 2020)

2.1.3. Antecedentes Locales.

(Alencar & Reyes, 2020) en sus investigacion sobre el “Uso de chipiadora forestal para eliminar tallos de palmas aceiteras procedentes de la renovacion de plantaciones” concluyen la maquina chipiadora Bandit 1590XP presenta un rendimiento de 12 palmas cada ocho horas con 2 juegos de cuchillas por día en un jornal.

Zevallos, (2015) revela en su investigación “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”; el cual tuvo como objetivo determinar el potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma. La población estuvo conformada por las plantas procesadoras de palma aceitera, en los Distritos de Coronel Portillo y Padre Abad, ubicadas desde el Km 12 hasta el Km 178 de la C.F.B. la metodología empleada fue descriptiva de forma prospectiva, mediante la recolección de información secundaria sobre la producción referente a áreas cosechadas y rendimiento del cultivo de palma y el factor de ·generación de residuo. Para determinar el Potencial Energético se utilizaron fórmulas matemáticas. Los resultados señalan que el 41% de una tonelada de Racimo de fruto fresco es residuo sólido: 18 044.64 tn/anual para Coronel Portillo y 42 361.81 tn/anual para

Padre Abab; en cuanto a los valores de poder calorífico se obtuvo que el escobajo tiene 382 Kcal, Fibra 421 Kcal y Cuesco 443 Kcal; la fibra y el cuesco son aptos para el aprovechamiento como combustible y el escobajo no se toma en cuenta por su alto % de Humedad, en Ucayali se podría generar un potencial energético de 303.88 TJ al año que equivale a una potencia de 20.21 MW utilizando residuos sólidos de palma aceitera, que cubriría un 37% la demanda energética de la ciudad de Pucallpa; todo esto aprovechando la biomasa residual de palma aceitera.

2.2 Planteamiento teórico.

2.2.1 Taxonomía de la Especie *Elaeis guineensis* Jacq.

Melado (2008) El científico Hutchinson clasificó la palma aceitera (***Elaeis guineensis*** Jacq) de la siguiente manera:

División : Fanerógama
Tipo : Angiosperma
Calve : Monocotiledónea
Orden : Palmales
Familia : Palmaceae
Tribu : Cocoinea
Género : Elaeis

Elaeis viene del griego “elaia”, que significa aceite (Melado, 2008).

a) Raíces.

La parte inferior del tallo de la palma aceitera es una estructura cónica de la cual surgen hasta 10 000 raíces primarias.

Estas raíces miden entre 5 y 10 mm de diámetro y pueden llegar a alcanzar hasta 20 m de longitud. Las raíces primarias crecen hacia abajo o se distribuyen de manera más o menos horizontal y cumplen básicamente una función de anclaje.

Las raíces primarias dan origen a las secundarias que miden entre 2 y 5 mm de diámetro; estas dan origen a las terciarias de 1 a 2 mm de

diámetro y hasta 15 cm de longitud; también existen las cuaternarias muy pequeñas (Levau, 2018).

b) Estipe o estípite.

Durante los primeros tres años de edad, el tronco se caracteriza por su forma de cono invertido, de cuyo ápice brotan hojas y, de la base, numerosas raíces adventicias. A partir de esa edad, el tronco se alarga conforme emergen las hojas y alcanzan entre 15 y 20 m de alto, con un diámetro que oscila entre 30 y 50 cm. La palma aceitera posee un solo punto de crecimiento o meristemo apical que se encuentra en la parte central del tronco. Este llega a producir de 30 a 40 hojas nuevas por año (Levau, 2018).

c) Hojas.

El follaje se forma a partir de los primordios foliares localizados en la parte superior del tronco del que nacen las hojas e inflorescencias. El tronco de una palma adulta en condiciones normales posee entre 30 y 40 hojas, las cuales pueden alcanzar entre 5 y 7 metros de longitud, y pesan de 5 a 8 kg.

La filotaxia o arreglo de las hojas en el estipe es muy importante en el cultivo de palma aceitera. Las hojas están dispuestas en dos espirales, una que corre de derecha a izquierda, en la cual hay ocho hojas colocadas entre la que está en la misma línea vertical, otra de izquierda a derecha, con cinco hojas intermedias (Levau, 2018).

d) Inflorescencias.

La palma aceitera es monoica, es decir, las flores masculinas se desarrollan separadamente (en el tiempo), de las flores femeninas, pero siempre en la misma planta. Las inflorescencias masculinas y femeninas se forman en las axilas de las hojas; las primeras aparecen entre los 20 a 24 meses, y es a partir de esa edad, en condiciones normales, que surgen por cada hoja que se forma (Levau, 2018).

La inflorescencia masculina está constituida por un pedúnculo largo o eje central, alrededor del cual se distribuyen cerca de cien espigas que poseen forma de dedos de 10 a 20 cm de longitud. El polen posee un atractivo olor a anís. Sin embargo, la inflorescencia femenina es un racimo globoso, cubierto al principio por dos espatas coriáceas y protegido en la base con 5 a 10 brácteas duras y puntiagudas que pueden medir hasta 15 cm de longitud (Levau, 2018).

e) Racimos y frutos.

Por lo general, es ovoide y posee un tamaño promedio de 35 cm de ancho por 50 cm de largo. Su peso por racimo puede variar de 2 a 3 kg en palmas jóvenes y alcanzar hasta 100 kg en adultas. El racimo está compuesto de un raquis central, espiguillas, frutos normales, partenocárpicos y abortados. El fruto es una drupa sésil, ovoide, que presenta color oscuro o negro cuando está inmaduro y color predominantemente rojo en su madurez. Las características del fruto son las de mayor importancia económica. Los componentes relacionados con la producción anual de racimos son el peso promedio y el número de racimos. Estos componentes asociados con el porcentaje de extracción de aceite, constituyen el rendimiento total (Levau, 2018).

f) Agroindustria del cultivo.

El cultivo de palma aceitera presenta una cadena de valor compuesta por tres eslabones agroindustriales, que se inicia con la fruta de la palma, luego el aceite crudo de palma, y posteriormente la torta de palmiste, que son los productos industriales primarios. (Levau, 2018).

Finalmente, el aceite refinado de palma y sus fracciones que es el producto total industrializado. Debido a que el fruto es muy perecedero después del corte, lo más común es que las áreas de producción tiendan a ubicarse cerca de la planta extractora. El proceso de extracción consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante. El aceite de palma por su parte, no requiere del proceso de hidrogenación en su primera fase para su

utilización, lo que evita la formación de grasa trans perjudicial para la salud humana. Los productos que se obtienen de este proceso son, el aceite de palma crudo y aceite crudo de palmiste. El aceite crudo recibe un proceso de refinación para reducir la humedad, blanquearlo y desodorizarlo. El producto que se obtiene en este proceso es aceite refinado, filtrado y blanqueado. (Levau, 2018)

2.2.2 Aspecto Ambiental

a) Clima.

Las temperaturas mensuales de 25 a 28 °C en promedio son favorables para el desarrollo del cultivo de palma aceitera, si la temperatura media mínima no es inferior a 21 °C. Temperaturas de 15 °C detienen el crecimiento de las plántulas de vivero y disminuyen el rendimiento de las palmas adultas. La precipitación entre 1 800 y 2 200 mm es idónea, si está bien distribuida en todos los meses. Precipitaciones pluviales de 1 500 mm anuales, como promedios mensuales de 150 mm, son también adecuadas. (Levau, 2018)

La humedad relativa debe ser superior al 75 por ciento. La palma de aceite se adapta bien hasta alturas de 500 m sobre el nivel del mar y a la zona ecuatorial, entre los 15° de latitud norte y 15° de latitud sur.3. (Levau, 2018)

Tabla 1.
Aspectos agroecológicos de palma aceitera.

Clima.	Tropical húmedo.
Suelos.	Los mejores suelos son los limosos, profundos y francos limosos. Se deben evitar suelos con texturas extrema especialmente arcillosos y arenosos. Requiere de suelos bien drenados que eviten que se lave el terreno y produzcan lixiviación de nutrientes.
pH.	De 4.5 - 7.5 óptimo, pero se adapta desde 3 a 8.2, niveles altos de calcio intercambiables puede ocasionar problemas en la absorción de cationes.
Precipitación pluvial.	Óptimo 1700 - 2000 mm al año, 150 mm al mes. En precipitaciones menores a 1500 mm anuales se deben efectuar riegos.
Altitud.	3 - 700 m.s.n.m.
Pendiente.	Hasta 25 porciento.

Temperatura.	23 - 27 °C óptima, adaptable de 20 - 35 °C. Debajo de 19 °C son detrimentales.
Humedad relativa.	70 – 90 por ciento.
Luminosidad.	1500 - 2000 horas luz por año.

Nota: Sustentabilidad de fincas productoras de palma aceitera (Levau, 2018).

b) Suelo.

Los suelos deben ser planos o ligeramente ondulados, ya que pendientes mayores al 12 por ciento exponen el suelo a erosión y los costos de producción se incrementan por requerir más caminos, terrazas o curvas de nivel, y se dificulta el manejo. El suelo debe ser fértil, con un horizonte superficial de 80 a 120 cm, de textura franca y un subsuelo arcilloso no pesado que retenga humedad (Levau, 2018).

Los suelos con estas características pueden abastecer de agua y nutrimentos al cultivo, pero los suelos someros, poco profundos o con drenaje deficiente, reducen la capacidad de producción de la palma. Los suelos arenosos (texturas gruesas) no son recomendados, ni los extremadamente arcillosos. Para la siembra de palma se recomiendan los suelos tropicales de mayor fertilidad como los aluviales jóvenes. Sin embargo, también se pueden utilizar los abundantes suelos ácidos, antiguos, de menor fertilidad, donde la aplicación de fertilizantes químicos es una práctica necesaria (Levau, 2018).

2.2.3 Tecnologías disponibles en astillado y/o triturado de biomasa

Sobre el tema (De La Cerda, 2014) manifiesta que los equipos de producción de biomasa se diferencian entre ellos dependiendo principalmente de los siguientes factores:

1) El tipo de material a astillar o triturar, dentro de los cuales podemos distinguir: árbol completo, troncos, residuos forestales (ramas, copa de árbol, etc).

2) La granulometría exigida por el cliente.

3) El grado de contaminación, por tierra, piedras o metales en el material.

La combinación de estos factores, ha generado nichos de desarrollo para distintas tecnologías, de las cuales las más comunes se mencionan a continuación:

a) Astilladores de tambor

Equipos que logran el proceso de reducción de tamaño de la madera a través del corte de esta por cuchillos montados en tambores rotatorios, que giran a velocidades superiores o iguales a las 500 RPM.

- **Tipo de material:** Están especialmente diseñados para trabajar con madera sólida y ordenada, alineada con respecto al tambor, sobre todo con troncos, árbol completo, o copas de árboles, donde su rendimiento productivo es el más elevado de las tecnologías disponibles en el mercado y su consumo de combustible por unidad de producción el más bajo. También se utilizan para el astillado de residuos forestales como ramas, pero su rendimiento es bastante menor que con madera sólida, ya sea por la menor densidad estéreo del material siendo astillado, como también por el desorden y falta de alineamiento de las ramas con respecto al tambor que usualmente entorpece la alimentación y por ende genera tiempos muertos.

- **Granulometría:** Logran granulometrías bastante estables y controlables, alcanzando tamaños de astilla usualmente aceptadas y deseadas por todos los clientes de biomasa.

- **Sensibilidad a contaminantes:** Debido al funcionamiento con cuchillos con filo y la alta velocidad de rotación del tambor, son altamente sensibles a contaminaciones por tierra, piedras o fierros.

Dentro de la categoría de los astilladores de tambor, se pueden distinguir 2 tipos, astilladores de tambor abierto y de tambor cerrado.

El tambor cerrado se caracteriza por ser un cilindro completo, solamente tiene los espacios necesarios para el montaje de los cuchillos.

El tambor abierto se caracteriza por ser un cilindro formado por placas circulares paralelas entre sí, las que están separadas por un espacio

que permite la entrada a la astilla generada, como también a eventuales contaminaciones, haciéndolo menos sensible a estas en comparación con un astillador de tambor cerrado.

La principal diferencia entre ambos es la mayor sensibilidad del rotor cerrado a contaminantes, por lo explicado anteriormente, y, de acuerdo a la experiencia del autor de este trabajo, los astilladores de rotor cerrado tienen una menor productividad que los de rotor abierto a una misma potencia de motor.

b) Trituradores de martillos

Equipo ya descrito anteriormente, que logra la reducción de tamaño de la biomasa a través de golpear repetidamente los residuos forestales con martillos fijados en un rotor que gira aproximadamente a 500 RPM. El material que logra el tamaño aceptado pasa por una criba o harnero como producto terminado. El que no logra el tamaño aceptado se mantiene en la cámara de trituración, entre el rotor y la criba, donde sigue siendo golpeado hasta lograr el tamaño indicado.

Tipo de material: Estos equipos están diseñados para trabajar principalmente con residuos forestales, ramas, donde son los equipos más productivos en comparación con los astilladores y los desmenuzadores (siguiente equipo a explicar). Pueden procesar troncos o arboles enteros, siempre y cuando sean de madera blanda, pero no lograran la misma productividad que un astillador tiene en este material.

- **Granulometría:** Logran granulometrías relativamente estables, alcanzando tamaños de astilla mayores a los de un astillador. Pocas veces se puede escuchar una queja por parte de un cliente, al respecto de la granulometría entregada.
- **Sensibilidad a contaminantes:** Debido al funcionamiento con martillos, su sensibilidad a contaminantes como tierra y piedras es menor, pero

contaminantes como fierros o piedras grandes si afectaran al equipo, eso si no en el mismo grado que se ve afectado un astillador.

c) Desmenuzadores

Estos equipos logran el efecto de reducción de tamaño a través de 2 rodillos que giran en sentidos opuestos, a bajas revoluciones (40 RPM aprox) y alto torque, de tal forma de forzar el material entre ellos, utilizando dientes con la forma de garras, los que van desgarrando el material, forzándolo contra un yunque y contra la criba que está debajo de ellos, para así lograr reducirlo hasta el tamaño determinado por los hoyos de la criba.

Tipo de material: De todos los equipos, este es el más versátil, siendo capaz de triturar cualquier tipo de material, árbol completo, troncos, ramas, copas de árboles y otros residuos forestales como lo son las raíces.

Granulometría: La granulometría de este equipo varía dependiendo del tamaño de los hoyos de la criba instalada, afectando de manera relevante el rendimiento del equipo cuando se instalan cribas de hoyos muy pequeños, debido a la restricción que genera al paso del material. El tamaño de astilla que entrega el equipo, con un rendimiento productivo estándar, podría eventualmente llegar a ser considerado como grande por el consumidor final, por lo que se debe validar previamente con este el tamaño que para él es considerado como aceptado y verificar si el rendimiento productivo asociado a ese tamaño permite una operación rentable del equipo.

Sensibilidad a contaminantes: Debido a las bajas revoluciones de los rotores, y además a la capacidad de estos de detenerse completamente y girar en sentido contrario, en caso de encontrar un material demasiado duro de romper, como piedras o fierros, se considera que estos equipos son los más resistentes a contaminaciones, de todos los equipos existentes en el mercado.

2.2.4 Rendimiento productivo de las maquinas astilladoras

Según (De La Cerda Nicolás, 2014) la Empresa Forestal Celco división norte, tiene base en Constitución (Chile), esta empresa utilizó como material a astillar o triturar, árbol completo, troncos, residuos forestales (ramas, copa de árbol, etc), determinando rendimientos productivos de dos astilladoras o trituradoras: Chippertruck 582 y Crambo 5000 Direct:

Para Chippertruck 582: 70 m^3st/hora (560 m^3st/jornada)

Para Crambo 5000 Direct: 66 m^3st/hora (528 m^3st/jornada

Por su parte (Jaramillo Álvaro, 2005) en Valdivia (Chile) con un equipo desrramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G, que realiza tres procesos para la elaboración de astillas, los cuales son el desrrame, descortezado y astillado de la madera, que son las actividades directas del proceso de la maquinaria, el número de árboles por hora productiva 69.2 (arb/HrPr) o de 554.2 arb/JornadaPr

Así mismo en Valdivia (Chile) con el equipo desrramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G, que realiza tres procesos para la elaboración de astillas, los cuales son el desrame, descortezado y astillado de la madera, que son las actividades directas del proceso de la maquinaria, el volumen rollizo de los árboles procesados fue de 27.1 m^3/HrPr (Jaramillo Álvaro, 2005),

Algunos autores como ((Sandoval, 2004) promocionan una astilladora o Chipeadora para Tractor RABAUD Modelo XYLOCHIP 100 mm con 2 Cuchillos y 16 Martillos, con 250 Kg de peso, un rendimiento aproximado de 1500 Kg/h según condiciones

2.2.5 Capacidad de producción

a) Capacidad instalada

Según Sy Helmut, (2019) la **capacidad instalada** es el rendimiento máximo que se puede producir en una planta de producción o empresa en un período dado, usando los recursos que se tienen disponibles en un momento determinado. Es un aspecto importante del sistema de producción; se trata de una medida de

eficiencia que se puede ajustar de tal manera que la producción esté de acuerdo con la demanda. Si la demanda es mayor que la capacidad, entonces no se podrá abastecer al cliente. Por otro lado, si la capacidad es mayor que la demanda, se tendrán muchos trabajadores y máquinas inactivos, lo que tampoco es bueno.

El uso de la capacidad instalada se acerca pocas veces al 100 por ciento: un uso total de la capacidad instalada puede ser muy costoso para la empresa, puede reducir la vida útil del capital y las ganancias en productividad respecto al nivel óptimo podrían ser negativas (Mundaca, Saldarriaga y Virreira, 2019)

b) Capacidad normal o capacidad efectiva

IngenioEmpresa (2020), considera que la mayoría de las empresas no operan a su máxima capacidad. Lo hacen por las restricciones “típicas”, entre las cuales podemos encontrar el mantenimiento de la maquinaria, los errores en el personal, los tiempos perdidos, etc. Con esto en mente, piensa en la capacidad efectiva como la producción que se espera alcanzar en condiciones reales de funcionamiento.

c) Capacidad ociosa o no utilizada

Se entiende por capacidad ociosa aquella capacidad instalada de producción de una empresa que no se utiliza o que se subutiliza. Toda empresa para poder operar requiere de unas instalaciones que conforman su capacidad para producir. Lo ideal que se estas instalaciones sean aprovechadas un 100%, algo que no siempre sucede ya sea por falta de planeación o por situaciones ajenas al control de la empresa. La capacidad instalada no utilizada es lo que se conoce como capacidad ociosa, que no produce nada, que permanece ociosa (Gerencie.com, 2022).

d) Capacidad de procesamiento

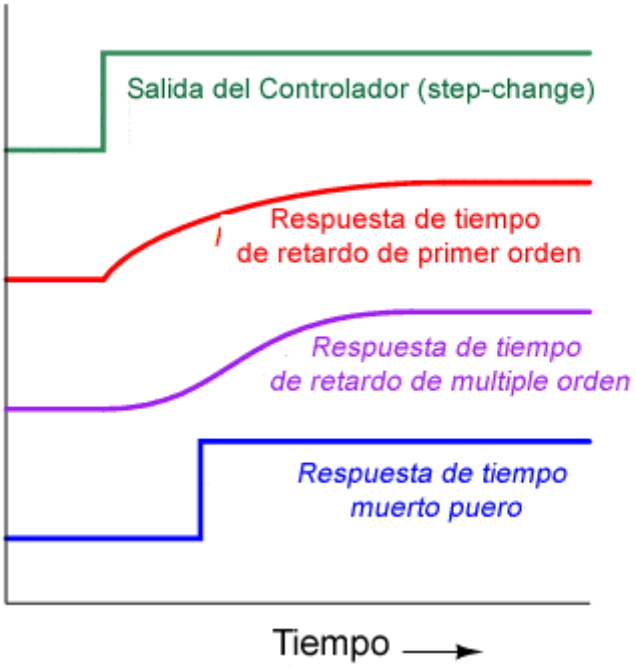
Mide la eficiencia de la planta en razón a la entrada de materia prima e insumos y que puede ser procesado en un periodo determinado (Salvador M., 2016).

e) Tiempos de retardo y tiempos muertos

Un **tiempo de retardo**. Difiere a respuesta amortiguada de un proceso, desde que se produce un cambio en la variable de manipulada (por ejemplo cambiando la posición de la válvula) hasta tener un cambio en la variable de proceso: el efecto inicial de un cambio en la salida del controlador es visto inmediatamente, pero la efecto final se toma un tiempo para realizarse o completarse.

El **tiempo muerto**, por el contrario, refiere a un periodo de tiempo durante el cual hay un cambio en la variable manipulada pero que no produce NINGUN tipo de efecto en la variable de proceso: el proceso aparece como “muerto” por algún tiempo antes de mostrar su respuesta.

Figura 1.
Tiempo de retardo y tiempos muertos



La anterior gráfica superpone y nos permite contrastar tiempos de retardo de primer y segundo orden versus tiempos muertos puros, esto luego de haber realizado un escalón o step-change en la salida del controlador en modo manual (una prueba a “lazo abierto”).

2.3. Definición de términos básicos.

- **Astilladora.** Herramienta cuya función es la de reducir el tamaño de bloques de madera y así hacer más sencillo manipularlos (Ferrer, 2020).

- **Astilla.** Fragmento de un objeto más grande (especialmente madera), o un cuerpo extraño que penetra o se inyecta a propósito en un cuerpo (CITEMadera, 2009).

- **Abono.** Fertilizante que se echa a la tierra para hacerla más rica y más productiva (Ramos, 2014).

- **Estípite.** Tronco de una planta no da ramas laterales, como sucede en las palmeras y en los helechos arborescentes, el tronco se llama estípite (Gonzales, 2017).

- **Palma aceitera.** Planta tropical considerada como uno de los cultivos oleaginosos más eficientes del mundo. (JUNPALMA, 2019).

- **Producción.** Obtención o elaboración de bienes materiales y/o servicios mediante la aportación de trabajo (Andalucía, 2014).

- **Productividad.** Uso eficiente de recursos trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios (Sladogna, 2017).

- **Sistema productivo.** Conjunto de agentes y relaciones productivas que tienen lugar en un espacio determinado (Andalucía, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

En la investigación se utilizó el método de enfoque cualitativo a un nivel u alcance descriptivo; debido a que se realizó con un orden secuencial; las variables y ensayos fueron controladas; las cuales fueron medidas para explicar en qué condiciones se relacionan las variables en estudio; como lo señalan los autores (Hernández, 2017)

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

La población estuvo constituida por todas las palmas aceiteras improductivas con más de 25 años de edad, que se encontraban en una parcela de 20 has, en el distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, con aproximadamente 2800 palmas aceiteras improductivas

3.2.2. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra lo constituyó 37 estípites *de Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) improductivas o de renovación, cuya selección fue realizada utilizando un muestreo aleatorio simple e independiente de la población.

Para determinar el tamaño de la muestra se realizó un muestreo piloto de 20 plantas de palma aceitera, teniéndose como variable de estudio el diámetro basal (50 cm del suelo) y se aplicó .la formula siguiente

$$n = (\mathbf{t_{1-\alpha/2}^2}\ CV^2)/E^2$$

Donde:

n = Número requerido de troza

$t_{1-\alpha/2}$ = Valor de t de Student con 19 grado de libertad (2.093)

α= Nivel de significación (α = 0.05)

CV = Coeficiente de variación en % (14.50%)

E = Error de muestreo en % (5%)

$$n = (t_{1-\alpha/2}^2 \, CV^2) / E^2$$

$$n = (2.093)^2 * (14.5)^2 / 5^2$$

$$n = 36.84 = 37 \text{ palmeras}$$

3.3. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

3.3.1. Técnicas.

La técnica que se utilizó en la investigación fue el método de observación directa – no experimental. Las técnicas de recolección de datos son los medios por los cuales el investigador procede a recoger información requerida de una realidad o fenómeno en función a los objetivos del estudio. Las técnicas varían y se seleccionan considerando el método de investigación que se emplee (Hernández, 2017).

3.3.2 Instrumentos.

El instrumento utilizado para recabar la información, fue un formato de recolección de datos, el cual se encuentra en la sección de anexo 7.1.; en donde se registró el DAP, la altura total estimada con un hipsómetro.

3.4 Procedimiento para recolección de datos.

3.4.1 Descripción de la maquina astilladora

Equipo forestal 1590XP - Astilladora de madera - con motor Caterpillar 160HP. Esta astilladora es autoalimentada con un tambor de 18 capacidades, es prácticamente propulsada por un motor turbo Diesel Caterpillar con pre emisión de 160 CV, con un sistema de alimentación automática, con inversión electrónica (Alencar & Reyes, 2020).

En otras características se puede decir que incluyen un cabrestante hidráulico, conducto de descarga de altura ajustable y un cilindro de trituración hidráulico (Alencar & Reyes, 2020).

Figura 2.
Técnico de Cite Forestal retirando la cuchilla y evaluando el filo.



La astilladora contaba con cuchillas cuyas dimensiones fueron: largo: 10 pulgadas, espesor 18 milímetros, ángulo de corte 30 grados y ancho 6 pulgadas

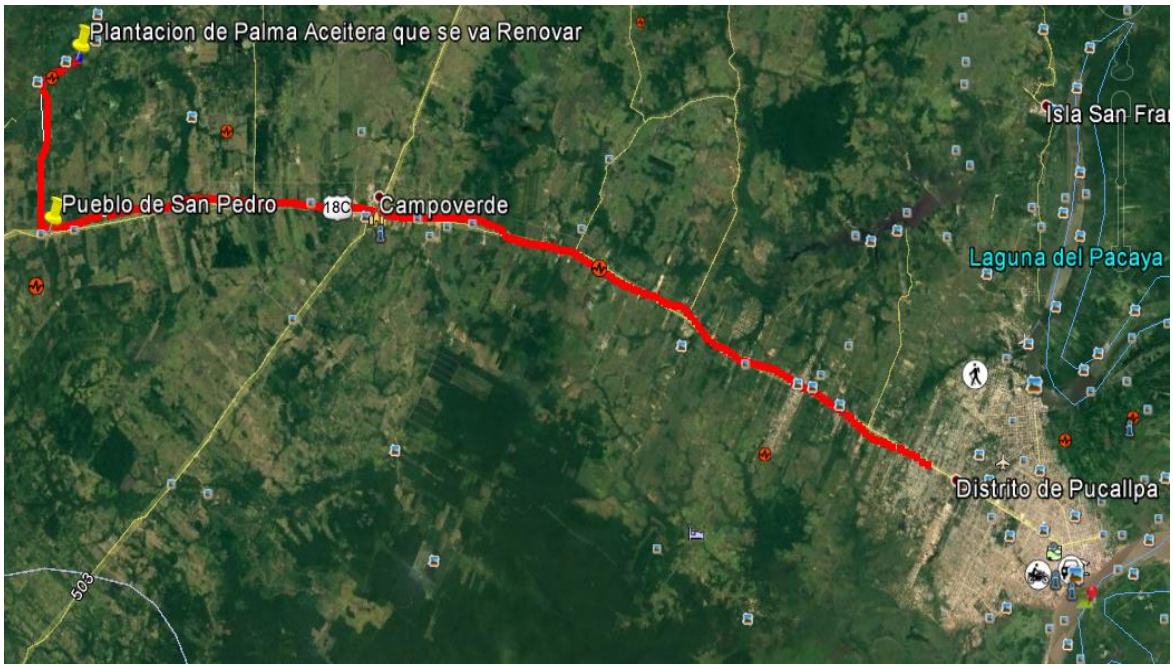
Figura 3.
Retirado de Cuchilla de la maquina astilladora.



Además, se contó con un tractor agrícola para remolcar la máquina astilladora.

3.4.2. Obtención de muestras.

Figura 4.
Ubicación de la parcela de palma aceitera; Fuente Google earth.



Las muestras de los estípites se obtuvieron de una plantación de palma aceitera, con una superficie de 200m x 1000 m = 200.000 m^2 (20 has), ubicado en el km 47 de la carretera Federico Basadre margen derecha, interior 7 kilómetros distrito de Campo Verde, Ucayali.

3.4.3 Tumbado

El tumbado consistió en cortar 37 plantas de palmas aceiteras improductivas, seleccionadas y marcados con cinta roja en la parcela, teniendo en cuenta el registro estructurado de producción (Kardex). El corte de la tumba se hizo a 20 cm por encima del suelo, el despunte donde se inicia el follaje y el trozado aproximadamente cada 3 m, para ello se hizo uso de una motosierra Sthil 060.

Figura 5.
Tumbado de palma aceitera.



El tiempo de tumbado de estípite de palma aceitera tiene un rango de 6 minutos a 10 minutos, debido a que la copa se encuentra balanceada, el estípite se queda en pie sin caer, para ello se utilizó una vara para aplicar una fuerza en dirección al espacio donde cae la palma.

3.4.4. Partido longitudinal del estípite

Muchas veces el diámetro de los estípites de las palmas aceiteras sobrepasa los diámetros requeridos por la apertura del rodillo de alimentación de la astilladora forestal; en este caso realizaron cortes longitudinales para obtener los diámetros apropiados y ser de fácil manipulación; como se observa en la figura 6.

Figura 6.
Partido de las palmas aceiteras hasta la dimensión que pueda entrar en la maquina astilladora.



3.4.5 Astillado de estípites

Luego de realizado el dimensionado de los estípites que conformaron la muestra, se procedió al astillado de cada uno de ellos en la astillladora Bandit 1590 XP. El ensayo se llevó a cabo con 37 estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), los que permitieron obtener datos técnicos como: volumen rollizo de los estipites de palma aceitera, volumen astillado, consumo de petróleo, tiempo de astillado, tiempos muertos y algunas observaciones que se mencionan en este documento.

El astillado se realizó con la maquina astillladora Bandit 1590 XP, para tal efecto los estípites de la palma aceitera fueron agrupadas de tres en tres, formando 11 grupos de 03 estípites y 01 grupo de 04, lo cual suma 37 estípites que permitieron medir variables como:

- Tiempo de astillado.
- Volumen astillado.
- Tiempos muertos

Estas variables sirvieron para medir la capacidad instalada de la máquina, la capacidad efectiva de producción, la capacidad ociosa, y eficiencia de la astilladora mecánica.

Figura 7.
Astillado de los estípites de palma aceitería seleccionados.



3.5. Procesamiento de datos.

3.5.1. Estimación del volumen rollizo promedio de los *estípites de* Palma aceitera de renovación.

Se evaluaron los volúmenes rollizos en pie de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (palma aceitera) de renovación individualmente, antes del ensayo de astillado, utilizando la fórmula de cilindro y determinando el factor de forma de los estípites (0.68). La expresión utilizada fue el que se describe:

$$Vi = \pi \, x \, r^2 \, x \, h \, x \, ff$$

Donde:

Vi = Volumen individual del estípite ($m^{3)}$.
π = 3,141592.
r = radio basal del estípite (m).
h = altura de estípite libre (m^3).
ff = Factor de forma (0.68)

El factor de forma de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (palma aceitera) de renovación de se determinó con la siguiente expresión

$$ff = \frac{\text{Volumen del estípite}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Donde:

ff = factor de forma del estípite

El volumen rollizo promedio de los estípites de palma aceitera se determinó con la siguiente expresión.

$$Vx = (V1 + V2 + V3 + ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, + V36 + V37)/37$$

Vx = Volumen promedio en m^3

3.5.2. Determinación del factor de conversión de volumen a estéreos

Para determinar el factor de conversión del volumen rollizo de los estípites de palma aceitera de renovación a astillas, se elaboraron probetas

de los estípites, a estas probetas se le determinaron el volumen compacto en metros cúbicos y el peso respectivo, enseguida estas probetas fueron astilladas y recogidas en cubo de madera para determinar el volumen aparente en metros cúbicos, para ello se utilizó la siguiente expresión:

$$Fc = \frac{Vast}{Vrol}$$

Donde:

Fc = Factor de conversión

Vast = Volumen astillado (m³ estéreo)

Vrol = Volumen rollizo (m³)

3.5.3. Estimación de la capacidad instalada de una astilladora mecánica, en la producción de astillas.

La capacidad instalada de la maquina astilladora se determinó, realizando 12 ensayos de astillado; de donde se recabaron datos del volumen de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), el tiempo empleado en procesar y el volumen de astillas producidas, para luego determinar la producción de astillas por hora y por jornada de trabajo, valor que se hizo extensivo a una jornada de trabajo (8 horas).

$$\mathbf{Cin = Pmax/h * Jt}$$

Donde:

Cin = Capacidad instalada de la astilladora en (estéreos/jornada)

Pmax/h = Producción máxima por hora (estéreos/hora).

Jt = Jornada de trabajo en horas

Cabe mencionar que la formula, no toma en cuenta los tiempos muertos, como reemplazo de cuchillas, recarga de combustible, limpieza, entre otros factores.

3.5.4. Estimación de la capacidad efectiva de una astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites.

Para calcular la capacidad de producción efectiva de la máquina atilladora expresados en estéreos por una jornada de trabajo, se tomó en

cuenta el volumen de astillas producida en un determinado tiempo; este tiempo es la suma del tiempo efectivo de trabajo y los tiempos muertos o improductivos que se presentaron en el desarrollo del trabajo (abastecimiento de combustible, cambio de cuchilla, limpieza de garganta, mantenimiento entre otros factores).

La capacidad de producción efectiva de la maquina astilladora se determinó mediante la siguiente formula:

$$Cpe = \frac{Vas}{(Te + Tm)}$$

Donde:

Cpe : Capacidad de producción efectiva (estéreos/jornada de trabajo)

Vas : Volumen astillado en estéreos.

Te : Tiempo efectivo de astillado en horas

Tm : Tiempos muertos en el proceso de astillado en horas

3.5.5. Determinación de la eficiencia de la maquina astilladora de estípite

La eficiencia de la maquina astilladora transformando estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), se estimó utilizando la siguiente expresión.

$$Ef = \frac{\text{Capacidad efectiva x 100}}{\text{Capacidad instalada}}$$

Donde:

Ef = eficiencia de la maquina (%)

Capacidad efectiva (estéreos)

Capacidad instalada (estéreos)

3.5.6. Estimación de la capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica en la producción de astillas.

La capacidad de procesamiento de una astilladora Bandit 1590 X, refiriéndose a la cantidad de materia prima que se procesa por unidad de

tiempo normal. El procesamiento de la materia prima se puede expresar de dos formas, por el número de estípites procesados por unidad de tiempo o por el volumen de estípites procesados por unidad de tiempo.

- **N° de estípites por jornada**

Nes = N° estípites/hora * 8 horas

Donde:

Nes = Número de estípites procesados por jornada de trabajo

- **Volumen rollizo de los estípites por jornada**

Vrol = Volumen rollizo de estípite/hora * 8 horas

Donde:

Nes = Volumen rollizo de estípites procesados por jornada de trabajo

3.6. Tratamiento de datos.

Para establecer si existe relación entre el diámetro basal y el volumen del estípite de la palma aceitera de realizo un análisis de correlación y regresión lineal.

Los resultados de las capacidades de la maquina astilladora de Bandit 1590 X, fueron representado mediante histogramas con sus valores estadístico de tendencia central como la media y los valores de dispersión como la desviación estándar y coeficiente de variación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

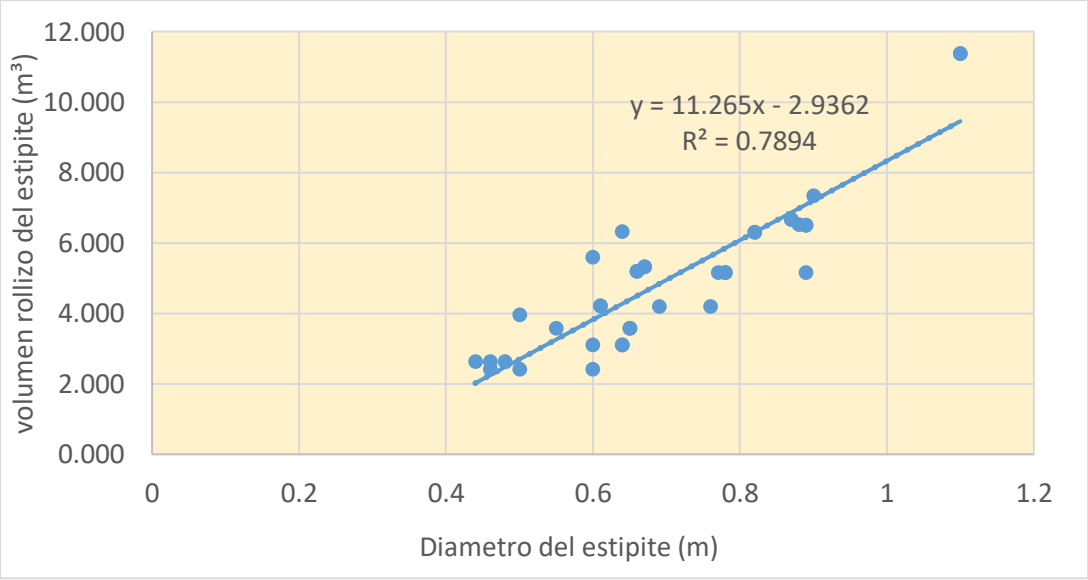
4.1 Volumen rollizo promedio de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (palma aceitera) de renovación.

Tabla 2.
Volumen promedio de los estípites de palma aceitera de renovación

N° de estípites	Volumen promedio (m³)	Desviación estándar (m³)	Coeficiente de variación (%)
37	5.01	2.122	42.35

La tabla 2, muestra que el volumen promedio por estípite fue de 5.01 m³ el coeficiente de dispersión (CV) de los diámetros basales de los 37 estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) fue de 42.35%, tal como se aprecia en tabla 2. El CV del volumen del estípite es relativamente alto, debido a la variación de los diámetros basales de 0.44 a 1.10 metros

Figura 8.
Relación entre el diámetro basal y el volumen de los estípites de palma aceitera de renovación y volumen promedio



En la figura 8 se aprecia la dispersión de los diámetros basales y muestra que existe una relación altamente significativa entre las variables diámetro basal de las *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) y el volumen

de los estípites. La relación es de tipo lineal Y=-2.9362 + 11.265X, expresando claramente que es una relación positiva, con un coeficiente de correlación de r=0.89, observándose que conforme se incrementa el diámetro, el volumen del estípite de las palmas aceiteras también se incrementa.

4.2 Factor de conversión entre el volumen real (compacto) y el volumen aparente del estípite de las astillas de *Elaeis guineensis* Jacq. (palma aceitera) de renovación.

Tabla 3.
Factor de conversión de 1m³ y 1 tonelada de estípite compacto a estípite astillado

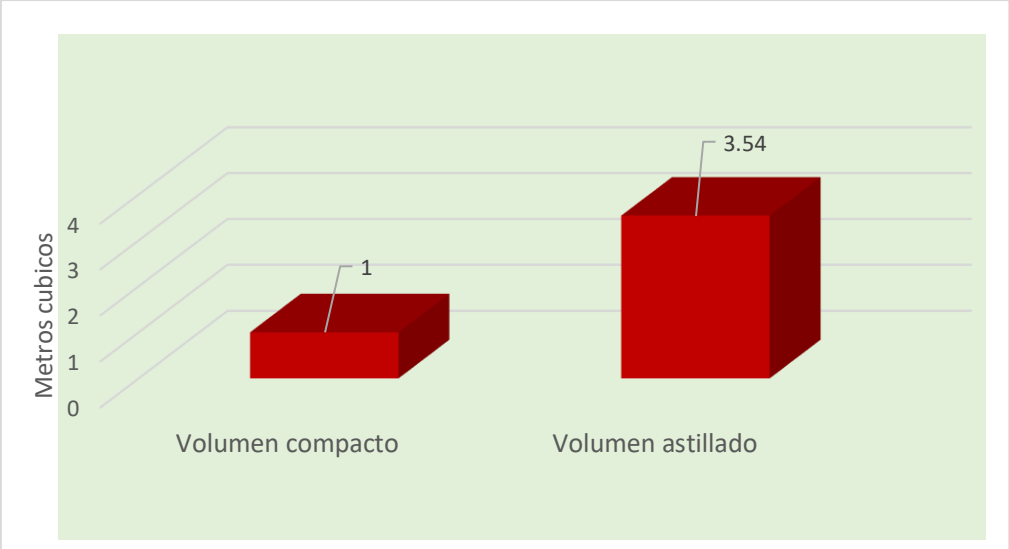
Magnitud	Estípite rollizo	Volumen astillado del estípite (estéreo)	Factor de conversión
Volumen	1 m³	3.54	3.54
Peso	0.896 t	3.54	
	1 t	3.95	

1 estéreo = 1m x 1m x 1m
1 estéreo = 253.1 kg

1m³ de estípite = 0.896 t de estípite

La tabla 3 muestra el factor de conversión de un metro cubico de volumen compacto a volumen astillado (estéreo) del estípite de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera). Así mismo se muestra el factor de conversión de una tonelada de estípite compacto a volumen astillado (estéreo).

Figura 9.
Factor de conversión de un metro cubico compacto a volumen astillado



En la figura 9, se aprecia que el factor de conversión de 1 m³ de estípite compacto o rollizo de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) de renovación, en el proceso de astillado se convierte en 3.54 estéreos de astillas, es decir que el volumen se incrementa en 3.54 veces más, debido a la separación de las fibras, generándose espacios vacíos. Así mismo se aprecia que una tonelada de estípite húmedo compacto se transforma en 3.95 estéreos de astillas, algo más que un metro cubico, a razón de que un metro cubico de estípite húmedo pesa en promedio 896 kg aproximadamente. Así mismo se deduce que un estéreo o un m³st de astilla húmeda pesa alrededor de 253.1 kg

Los métodos en los cuales los troncos y las hojas del cultivo antiguo se incorporan a los suelos y son económicamente viables, permitiendo mejorar problemas de diseño de la plantación anterior, factor de conversión, y características físicas y químicas indeseables de los suelos, como la compactación y la acidez (Mosquera, 2009).

4.3. Capacidades productivas de una astilladora mecánica

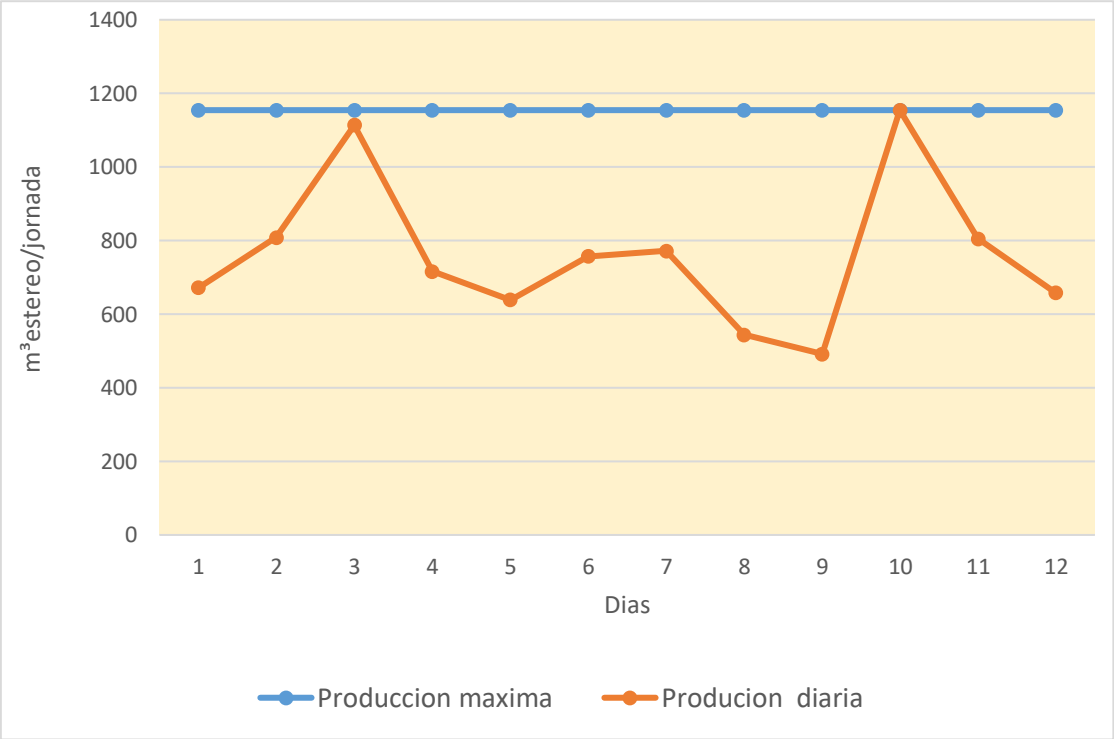
4.3.1 Capacidad instalada, en la producción de astillas de palma aceitera.

Tabla 4.
Capacidad instalada por hora y jornada de trabajo de una astilladora mecánica

Día	Cantidad de estípite	Tiempo de astillado (horas)	Producción de astilla (estéreos)		
			Por ensayo	Por hora	Por jornada
1	3	0.63	53.212	84.019	672.154
2	3	0.55	55.548	100.996	807.967
3	3	0.55	76.575	139.227	1113.816
4	3	0.58	52.211	89.505	716.043
5	3	0.53	42.573	79.825	638.600
6	3	0.50	47.332	94.665	757.320
7	3	0.58	56.256	96.439	771.512
8	3	0.53	36.237	67.944	543.550
9	3	0.53	32.789	61.479	491.828
10	3	0.57	81.772	144.304	**1154.435**
11	3	0.58	58.686	100.605	804.840
12	4	0.77	63.041	82.227	657.815

La capacidad instalada por jornada de trabajo de la astilladora se determinó tomando en cuenta la máxima producción de astillas húmedas, alcanzada el décimo día de ensayos cuyo valor fue de 1154.435 estéreos por jornada de trabajo (292 187.57 kg/jornada), tal como se puede apreciar en la tabla 4 y figura 10.

Figura10.
Capacidad instalada de la maquina astilladora se estípites



Por lo tanto, coincide con Sy Helmut (2019) cuando precisa que la **capacidad instalada** es el rendimiento máximo que se puede producir en una planta de producción o empresa en un período dado, usando los recursos que se tienen disponibles en un momento determinado.

4.3.2 Capacidad efectiva de una astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites

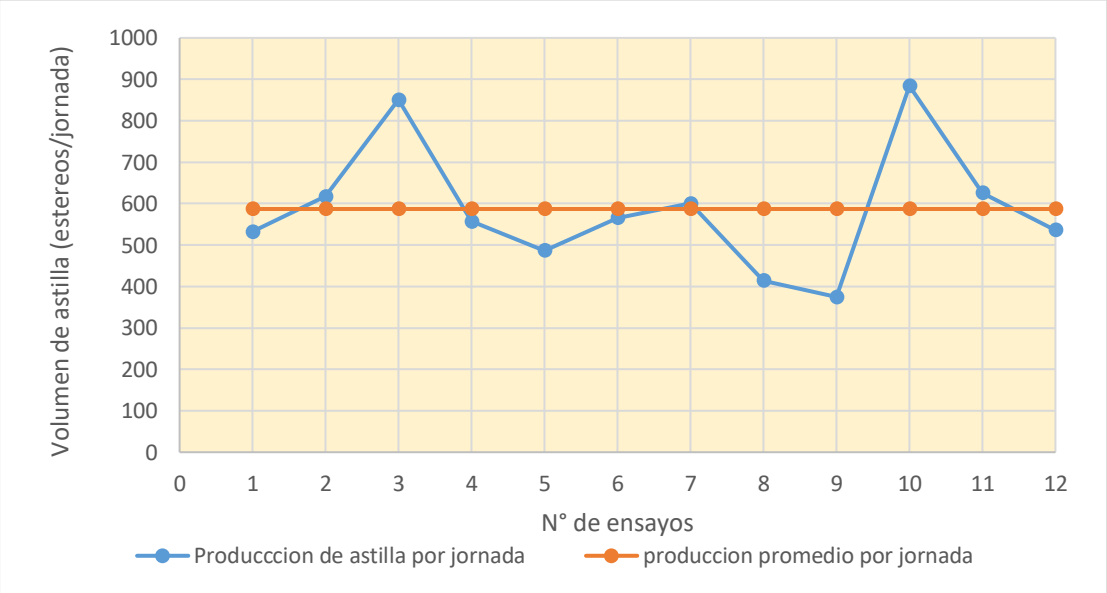
En la tabla 5 se aprecia la capacidad de producción efectiva por jornada de trabajo de una astilladora mecánica de estipites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera); esta capacidad se estimó adicionando los tiempos muertos que se presentaron en el proceso de astillado como: abastecimiento de petróleo, cambio de juego de cuchilla y limpieza de la

garganta de la máquina, que en promedio se estimó en 0.17 horas por cada ensayo, a ello se le adicionó el tiempo efectivo de astillado, para determinar el tiempo total por ensayo.

Tabla 5.
Capacidad efectiva de producción de una astilladora mecánica por hora y por jornada de trabajo

Día	Cantidad de estípite	Tiempo de astillado (horas)	Tiempos muertos (horas)	Tiempo total (horas)	Producción de astilla (m^3estereo)		
					Por ensayo	Por hora	Por jornada
1	3	0.63	0.17	0.8	53.212	66.515	532.120
2	3	0.55	0.17	0.72	55.548	77.150	617.200
3	3	0.55	0.17	0.72	76.575	106.354	850.833
4	3	0.58	0.17	0.75	52.211	69.615	556.917
5	3	0.53	0.17	0.7	42.573	60.819	486.549
6	3	0.5	0.17	0.67	47.332	70.645	565.158
7	3	0.58	0.17	0.75	56.256	75.008	600.064
8	3	0.53	0.17	0.7	36.237	51.767	414.137
9	3	0.53	0.17	0.7	32.789	46.841	374.731
10	3	0.57	0.17	0.74	81.772	110.503	884.022
11	3	0.58	0.17	0.75	58.686	78.248	625.984
12	4	0.77	0.17	0.94	63.041	67.065	536.519
		Promedio				73.377	587.020
		Desviación estándar				18.935	151.479
		Coeficiente de variación (%)				25.8	25.8

Figura 11.
Capacidad de producción efectiva promedio por jornada de trabajo



En la tabla 5 se aprecia que la capacidad efectiva de producción efectiva de la astilladora mecánica alcanza un valor 73.377 estéreos (m^3st)

por hora, mientras que la capacidad de producción efectiva o normal por jornada de trabajo alcanzó 587.02 estéreos (148574.76 kg), con un coeficiente de variación de 25.8%, tal como se observa en la tabla 5 y figura 11, dicha variación de la producción de astillas es debido a la variabilidad del diámetro de los estípites de la palma aceitera de renovación

Según De La Cerda Nicolas (2014) la Empresa Forestal Celco división norte, tiene base en Constitución (Chile), esta empresa utilizó como material a astillar o triturar, árbol completo, troncos, residuos forestales (ramas, copa de árbol, etc), determinando rendimientos productivos de dos astilladoras o trituradoras: Chippertruck 582 y Crambo 5000 Direct:

Para Chippertruck 582: 70 m^3st/hora (560 m^3st/jornada)

Para Crambo 5000 Direct: 66 m^3st/hora (528 m^3st/jornada)

Estos valores de las dos astilladoras son muy próximos al rendimiento productivo encontrado para la astilladora Bandit 1590 X, con estípite de palma aceitera, cuyo rendimiento fue de 587.02 estéreos/jornada o m^3st/jornada.

(Alencar & Reyes, 2020) en sus investigacion concluyeron la maquina chipiadora Bandit 1590XP presenta un rendimiento de 12 palmas cada ocho horas con 2 juegos de cuchillas por día en un jornal.

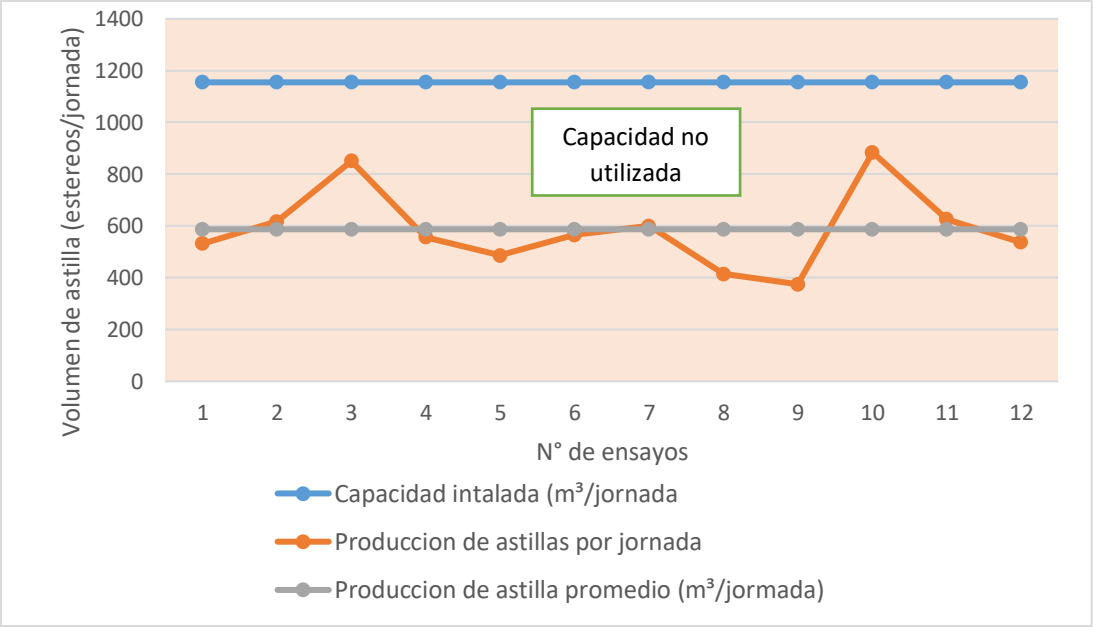
4.3.3 Capacidad no utilizada de una astilladora mecánica

Tabla 6.
Capacidad no utilizada de una astilladora mecánica de estípites

Capacidad instalada (estéreos/jornada)	Capacidad de producción normal (estereos/jornada)	Capacidad no utilizada (estereos/jornada)
1154.435	532.12	622.315
1154.435	617.2	537.235
1154.435	850.833	303.602
1154.435	556.917	597.518
1154.435	486.549	667.886
1154.435	565.158	589.277
1154.435	600.064	554.371
1154.435	414.137	740.298
1154.435	374.731	779.704
1154.435	884.022	270.413
1154.435	625.984	528.451

1154.435	536.519	617.916
Promedio	587.020	567.416
D. estándar	151.5	151.5
C.V. (%)	25.8	26.7

Figura 12.
Capacidad no utilizada de una astilladora mecánica de estípites



La tabla 6 y figura 12 muestran la capacidad ociosa o no utilizada de la astilladora mecánica en el proceso de astillamiento de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), el valor promedio encontrado de la capacidad no utilizada fue de 567.416 estéreos por jornada de trabajo, con un coeficiente de variación de 26.7%.

De acuerdo al coeficiente de variación la producción de la astilladora puede crecer o disminuir en 26.7%, es decir puede aumentar hasta 718.91

estéreos y disminuir hasta 415.41 estéreos por jornada de trabajo, esto dependerá del diámetro de los estípites de palma aceitera, las condiciones actuales de la máquina, de los tiempos muertos y de la destreza del operador.

4.3.4. Capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica

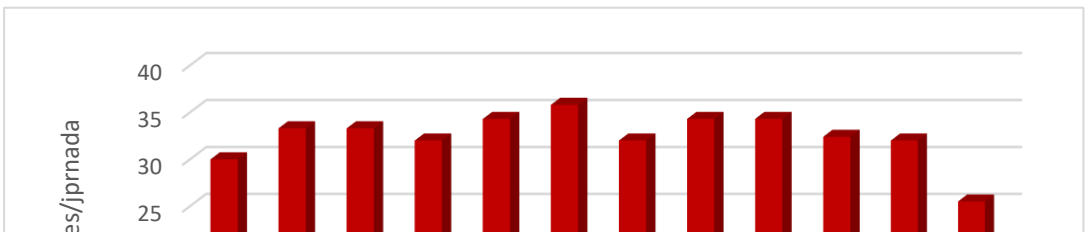
En la tabla 7 se aprecia la capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica Bandit 1590 X por jornada de trabajo, tanto en número de estípites por jornada de trabajo y en volumen rollizo por jornada de trabajo.

Tabla 8.
Capacidad de procesamiento de una astilladora mecánica

Día	Cantidad de estípite	Volumen de estípite (m3)	Tiempos (horas)			N° de estípites		Volumen de los estípites rollizos (m³)	
			De astillado	Muertos	Total	Por hora	Por jornada	Por hora	Por jornada
1	3	15.01	0.63	0.17	0.8	3.8	30.0	18.763	150.10
2	3	15.69	0.55	0.17	0.72	4.2	33.3	21.793	174.34
3	3	21.63	0.55	0.17	0.72	4.2	33.3	30.043	240.34
4	3	14.75	0.58	0.17	0.75	4.0	32.0	19.665	157.32
5	3	12.03	0.53	0.17	0.7	4.3	34.3	17.180	137.44
6	3	13.37	0.5	0.17	0.67	4.5	35.8	19.957	159.65
7	3	7.79	0.58	0.17	0.75	4.0	32.0	10.387	83.09
8	3	15.89	0.53	0.17	0.7	4.3	34.3	22.703	181.62
9	3	10.24	0.53	0.17	0.7	4.3	34.3	14.623	116.98
10	3	23.10	0.57	0.17	0.74	4.1	32.4	31.216	249.73
11	3	16.58	0.58	0.17	0.75	4.0	32.0	22.104	176.83
12	4	17.81	0.77	0.17	0.94	3.2	25.5	18.947	151.57
		Promedio				4.1	32.4	20.6	164.9
		Desviación estándar				0.33	2.654	5.793	46.342
		Coeficiente de variación (%)				8.18	8.18	28.10	28.10

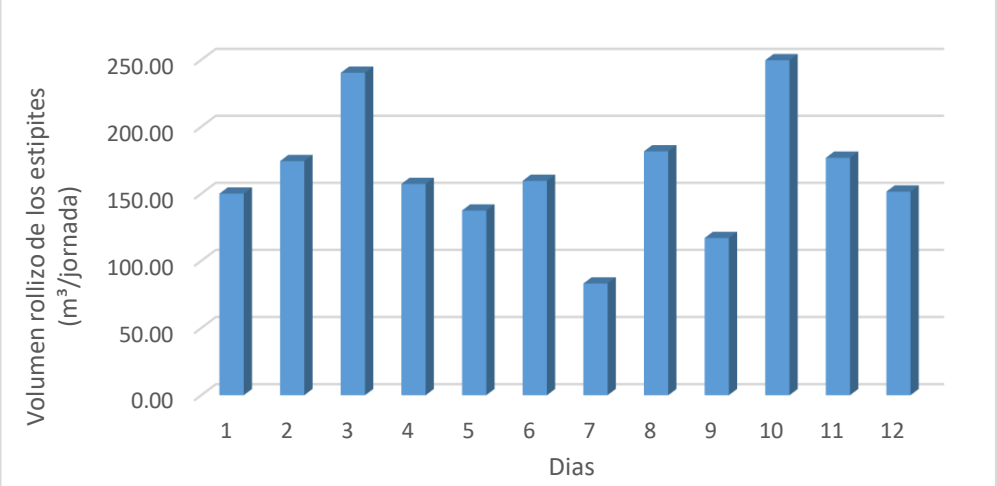
Según la tabla 8, la capacidad de procesamiento de la astilladora mecánica por jornada de trabajo es en promedio 32.4 estípites de palma aceitera, con un coeficiente de variación de 8.18%, este bajo coeficiente de variación se refleja en la figura 13, que muestra que el número de estípites a procesar por jornada, no difieren mucho entre jornadas.

Figura 13.
Numero de estípites que es procesado por jornada de trabajo



Si comparamos la capacidad de procesamiento de la astilladora Bandit 1590 X, procesando estípites de palma aceitera alcanzó en promedio a 32.4 estípites por jornada de trabajo, mientras que (Jaramillo Alvaro, 2005) en Valdivia (Chile) con un equipo desrramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G, que realiza tres procesos para la elaboración de astillas, los cuales son el desrrame, descortezado y astillado de la madera, que son las actividades directas del proceso de la maquinaria, el número de árboles por hora productiva 69.2 (arb/HrPr) o de 554.2 arb/JornadaPr

Figura 14.
Volumen rollizo de estípites que es procesado por jornada de trabajo



Si comparamos la capacidad de procesamiento de la astilladora Bandit 1590 X, procesando estípites de palma aceitera se alcanzó en promedio a 164.9 m³ de estípites compactos por jornada de trabajo, mientras que (Jaramillo Alvaro, 2005) en Valdivia (Chile) con un equipo desrramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo

5000G, que realiza tres procesos para la elaboración de astillas, los cuales son el desrrame, descortezado y astillado de la madera, que son las actividades directas del proceso de la maquinaria, el volumen rollizo de los árboles fue 27.1 $m^3/HrPr$, con volumen promedio por árbol de 0.392 m^3 (arboles delgados).

4.4 Eficiencia productiva de la astilladora mecánica

Tabla 9.
Eficiencia productiva de una astilladora mecánica de estípites

Capacidad instalada (estereos/jornada)	Capacidad de producción normal (estereos/jornada)	Eficiencia productiva (%)
1154.435	532.12	46.1
1154.435	617.2	53.5
1154.435	850.833	73.7
1154.435	556.917	48.2
1154.435	486.549	42.1
1154.435	565.158	49.0
1154.435	600.064	52.0
1154.435	414.137	35.9
1154.435	374.731	32.5
1154.435	884.022	76.6
1154.435	625.984	54.2
1154.435	536.519	46.5
Promedio	587.020	50.8
D. estándar	151.5	13.1
C.V. (%)	25.8	25.8

En la tabla 9 se aprecia la eficiencia productiva de la astilladora mecánica produciendo astillas o partículas de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), la eficiencia encontrada para la máquina astilladora fue de 50.8% de la capacidad instalada, con un coeficiente de variación de 25.8%, debido a muchos factores como tiempos de abastecimiento de combustible, limpieza de la garganta, recambio y afilado

de cuchillas, mantenimiento y reparaciones en general, a ellos hay que adicionar los diámetros de los estípites en general, los factores humanos entre otros.

Jaramillo (2005) en Valdivia (Chile) con un equipo desrramador – descortezador – astillador marca Peterson Pacific modelo 5000G, hizo un análisis de los ciclos de astillado (un ciclo= una carga de un camión de astillas) registrados en terreno, al considerar las demoras inferiores a 10 minutos, se determina una utilización de la maquinaria de 81.9%. Si se consideran el total de demoras, la utilización de la maquinaria disminuye a un 64.3%. En tanto que con la astilladora Bandit 1590 X astillando estípites la eficiencia fue de 50.8 %.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El volumen promedio por estípite de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) fue de 5.01 m^3, con un coeficiente de variación (CV) de 42.35%. El CV es alto, debido a la variabilidad de los diámetros basales de 0.44 a 1.10 metros

2. El factor de conversión de 1 m^3 de estípite compacto o rollizo de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) de renovación, en el proceso de astillado se convierte en 3.54 estéreos (m^3st) de astillas, Así mismo una tonelada de estípite húmedo compacto se convierte en 3.95 estéreos de astillas. Un metro cubico de estípite húmedo pesa en promedio 896 kg y un estéreo o un m^3st de astilla húmeda pesa alrededor de 253.1 kg.

3. La capacidad instalada por jornada de trabajo de la astilladora mecánica Bandit 1590 X se determinó tomando en cuenta la máxima producción de astillas húmedas, cuyo valor fue de 1154.435 estéreos por jornada de trabajo (292 187.57 kg/jornada)

4. La capacidad de producción efectiva promedio de la astilladora mecánica alcanzó un valor de 73.377 estéreos (m^3st) por hora ó 587.02 estéreos (148574.76 kg) por jornada de trabajo, con un coeficiente de variación de 25.8%.

5. La capacidad ociosa o no utilizada de la astilladora mecánica en el proceso de astillamiento de los estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), tuvo un valor promedio de 567.416 estéreos por jornada de trabajo, con un coeficiente de variación de 26.7%.

6. La capacidad de procesamiento de la astilladora mecánica por jornada de trabajo es en promedio 32.4 estípites de palma aceitera, con un coeficiente de variación de 8.18% o en promedio 164.9 m^3 de estípites compactos por jornada de trabajo.

7. La eficiencia productiva promedio de la astilladora mecánica en la producción de astillas de estípites de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera), fue el 50.8% de la capacidad instalada, con un coeficiente de variación de 25.8%.

5.2 Recomendaciones.

1. Realizar estudios comparativos de los aspectos técnicos y económicos con otros tipos de maquinaria destinados a la eliminación de biomasa.

2. Realizar estudios de tiempo, rendimiento y costos del ciclo de eliminación de estípites improductivos o de renovación de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera).

3. Elaborar a partir de las astillas de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma aceitera) diversos abonos orgánicos de uso agrícola y/o forestal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, J., & Reyes, P. (2020). *Uso de astilladora forestal para eliminar tallos de* palmas *aceiteras procedentes de la renovacion de plantaciones.* INIA, Ucayali. Pucallpa: Programa Nacional de Estudios e Investigación para el Desarrollo Forestal y Cambio Climático.

ANDALUCÍA. (2014). *la producción*. Obtenido de Directorio de Establecimientos con Actividad Económica en Andalucía : http://www.geografia.us.es/web/contenidos/becarios/materiales/archivos/Transparencias_Tema_4.pdf

Cipra, J. (2020). *Evaluación de tableros mdf producidos con residuos de madera de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) proveniente de una plantación forestal*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

CITEMadera. (2009). *Astilla*. Obtenido de Diccionario Enciclopédico Vox 1: https://es.thefreedictionary.com/astilla

De La Cerda, N. (2014). *Diseño, implementación y post-evaluación de un servicio de triturado de biomasa a partir de desechos forestales*.

Ferrer, A. (2020). *Astilladora ¿Qué es?*

Gamarra, L. (2016). *Aptitud de las fibras del mesocarpio de la palma aceitera (Elaeis guineensis jacq.) para la elaboración de tableros fibrocemento.* Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina: ttps://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstre am/handle/UNALM/2643/K50-G35-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GERENCIE.COM (2022). Capacidad ociosa. Visto 03 de diciembre del 2021. Disponible en: https://www.gerencie.com/capacidad-ociosa.html

Gonzales, A. (2017). *Estípite (botánica)*. Obtenido de Wikipedia La Enciclopedia Libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Est%C3%ADpite_(bot%C3%A1nica)

Hernández, R. (2017). *Metodología de la Investigación*, Sexta Edición. (M. G. Education, Editor) Recuperado el 30 de Abril de 2021, de Universidad Florencio Del Castillo: https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf

INGENIOEMPRESA, (2020) Capacidad de producción. Visto 03 de diciembre del 2021. Disponible en: https://www.ingenioempresa.com/capacidad-produccion-empresa/

Jaramillo, A. (2005). *Evaluación técnica y económica de Sistema de astillado en bosque de Eucalyptus sp.* Universidad Austral de CHile.

JUNPALMA. (2019). *¿Qué es la palma aceitera? Conoce el desarrollo palmero en el Perú y el mundo.* Obtenido de Blog: JUMPALMA PERÚ: https://junpalmaperu.org/blog/que-es-la-palma-aceitera-peru-mundo

Levau, R. (2018). S*ustentabilidad de fincas productoras de palma aceitera (Elaeis guineensis), en el valle del río Shanusi, Loreto*.

Ling-Hoak, O. (2005). *Palm Pulverisation in Sustainable Oil Palm Replanting*. Recuperado el 06 de Setiembre de 2021, de Plant Production Science: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1626/pps.8.345

Melado, Á. (2008). *Modelo de cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis jacq.) en honduras* . Obtenido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID : http://oa.upm.es/1671/1/PFC_ANGELA_MELADO_HERREROS.pdf

Mosquera, M. (2009). *Consideraciones sobre erradicación de palma de aceite en Colombia*.

Mundaca Fernando, Saldarriaga Miguel y Virreira César. (2019). Utilización de la capacidad instalada: medición y aplicaciones.

Preethi, P. (2019). *Cubo de astillado: un enfoque nuevo y factible*. Obtenido de Dirección de Investigación del Anacardo, Puttur 574202, India: https://www.researchgate.net/publication/332092246_Chipping_Bucket-A_New_and_Feasible_Approach_for_Fragmentation_of_Oil_Palm_Trunk

Ramos, D. (2014). *Generalidades de los abonos orgánicos*. Obtenido de Cutivos Tropicales - Ministerio de Educación Superior - Cuba: https://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493007.pdf

Rivera, Y. (2019). *Evaluación de la Sustentabilidad Económica, Social y Ambiental del Agroecosistema de Palma Aceitera en el Distrito de Neshuya, Provincia Padre Abad, Región Ucayali, 2019.* Obtenido de Universidad Nacional Alcides Carrión: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1049/1/T026_73901009_T.pdf

Salvador, M. (2010). *Protocolo De Campo Para La Seleccion Y Coleccion De Muestras Para La Caracterizacion Anatomicas Y De Propiedades Fisicas, Mecanicas, Quimicas y Tecnologicas De La Madera.* Obtenido de Asociacion Para La Investigacion y Desarrollo Integral - AIDER: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Protocolo%20para%20la%20seleccion%20de%20muestras%20(2010).pdf

Sandoval, V. (2004). *Aprovechamiento de una planta astilladora en la Décima Región*. Universidad Austral de Chile.

Sladogna, M. (2017). *PRODUCTIVIDAD*. Obtenido de Definiciones y perspectivas: http://www.relats.org/documentos/ORGSladogna2.pdf

Sy Helmut. (2019). Capacidad instalada: en qué consiste, factores y ejemplos.

Tamayo, G. (2001). *Diseños muestrales en la investigación*, SEMESTRE ECONÓMICO vol. 4, No. 7. Universidad de Medellín.

Tello, R. (2018). *Caracterización socio económica y productiva de dos asociaciones del comité central de palmicultores de Ucayali, ubicados en el distrito de Campo Verde y Neshuya, Ucayali – Perú.* Obtenido de Universidad Nacional de Ucayali: http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3840/000003494T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zevallos, S. (2015). *Determinacion del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extraccion del aceite de palma, en las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, region Ucayali; 2015 .* Obtenido de Universidad Nacional de Ucayali: http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/2229/000002071T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXO

ANEXO 1. Datos generales de los ensayos

Tabla 10.

Cuadro de datos general.

N°	Tiempo (m)	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen Palma (m3)	Volumen astillado (m3)	Promedio			Tiempos muertos		
						Tiempo de Chipeado (m)	Volumen Palma (m3)	Volumen astillado (m3)	Petroleo (Galon)	Cuchilla (Juegos)	Limpieza de garganta
1	13	0.60	16.20	4.58	3.69						
2	11	0.64	28.90	9.30	8.41	12.67	7.37	6.45			
3	14	0.60	29.10	8.23	7.24				5	2	3
4	10	0.50	29.70	5.83	5.13						
5	12	0.66	22.40	7.66	6.76	11.00	7.69	6.86			
6	11	0.89	15.40	9.58	8.69						
7	11	1.10	17.60	16.73	15.80						
8	13	0.87	16.50	9.81	8.92	11.00	10.60	9.70			
9	9	0.65	15.90	5.28	4.39				5	2	3
10	13	0.82	17.60	9.29	8.42						
11	11	0.67	22.20	7.83	6.94	11.67	7.23	6.34			
12	11	0.64	14.20	4.57	3.67						
13	10	0.78	15.90	7.60	6.68						
14	14	0.61	21.20	6.20	5.28	10.67	5.90	4.99			
15	8	0.44	25.60	3.89	3.00				5	2	3
16	8	0.50	18.20	3.57	2.67						
17	10	0.90	17.00	10.81	9.91	10.00	6.55	5.74			
18	12	0.55	22.20	5.27	4.63						
19	11	0.88	15.80	9.61	8.69						
20	11	0.77	16.30	7.59	6.68	11.67	7.79	6.88			
21	13	0.69	16.50	6.17	5.28				5	2	3
22	11	0.48	21.50	3.89	3.00						
23	11	0.46	21.50	3.57	2.67	10.67	5.02	4.11			
24	10	0.89	12.20	7.59	6.68						
25	14	0.76	13.60	6.17	5.28						
26	8	0.46	23.40	3.89	3.00	10.67	4.54	3.65			
27	10	0.60	12.60	3.56	2.67				5	2	3
28	12	0.66	22.40	7.66	6.80						
29	11	0.89	15.40	9.58	8.70	11.33	11.32	10.43			
30	11	1.10	17.60	16.73	15.80						
31	13	0.87	16.50	9.81	8.90						
32	9	0.65	15.90	5.28	4.40	11.67	8.13	7.23			
33	13	0.82	17.60	9.29	8.40						
34	11	0.67	22.20	7.83	6.90				5	2	3
35	11	0.64	14.20	4.57	3.70	11.50	6.55	5.65			
36	10	0.78	15.90	7.60	6.70						
37	14	0.61	21.20	6.20	5.30						