UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

ANALISIS COMPARATIVO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA DENSIDAD BASICA POR DOS METODOS DE EVALUACIÓN, DE LA MADERA *Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke*, (SHIHUAHUACO), PUCALLPA – UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

MAYUME BEBEL PEREZ ROBALINO

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° 442/2023-UNU-FCFyA-CGyT

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 12:10 horas del día jueves 19 de enero del 2023, de acuerdo con el Reglamento 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 Forestales y Ambientales, los mismos que se designaron con Memo Múltiple Nº 0023-2023-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Enrique Fachin Mattos	Presidente
Dra. Maria Angelica Flores Romayna	Miembro
Dr. Cesar Mori Montero	Miembro

Se procedió a evaluar a la sustentación de la tesis denominado: **"ANALISIS COMPARATIVO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA DENSIDAD BASICA POR DOS METODOS DE EVALUACIÓN, DE LA MADERA *Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke*, (Shihuahuaco), PUCALLPA – UCAYALI"** presentado por el Bachiller **MAYUME BEBEL PEREZ ROBALINO**; asesorado por el Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas. Habiendo finalizado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD,** con calificación **MUY BUENA Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN**, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**. Siendo la 1:00 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Carlos Enrique Fachin Mattos
Presidente

Dra. Maria Angelica Flores Romayna
Miembro

Dr. César Mori Montero
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Carlos Enrique Fachin Mattos

Presidente

Dra. María Angélica Flores Romayna

Miembro

Dr. Cesar Mori Montero

Miembro

Dr. Manuel Ivan Salvador Cárdenas

Asesor

Bach. Mayume Bebel Perez Robalino

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº V/0805-2022

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

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MODULO DE ELASTICIDAD Y LA DENSIDAD BASICA POR DOS METODOS DE EVALUACIÓN, DE LA MADERA DIPTERYX FERREA (DUCKE) DUCKE, (SHIHUAHUACO), PUCALLPA – UCAYALI."

Autor(es)	:	**PÉREZ ROBALINO, MAYUME BEBEL**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	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 de 7%.**

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 21/12/2022

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, MAYUME BEBEL PEREZ ROBALINO

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada:
"ANALISIS COMPARATIVO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA DENSIDAD BASICA POR DOS METODOS DE EVALUACIÓN, DE LA MADERA Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke, (SHIHUAHUACO), PUCALLPA - UCAYALI".

Sustentada el año: 2023

Con la asesoría de: Dr. MANUEL IVAN SALVADOR CARDENAS

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela 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 tiempoy 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: 19 / 01 / 2023

Email: mayume.perez@gmail.com

Teléfono: 988692434

Firma:

DNI: 72260168

DEDICATORIA

A mis padres Genaro y Auristela por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, la paciencia que me han tenido pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Pero sobre todo gracias infinitas.

A mi hijo Fabio Adonis por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en este, te agradezco por los momentos sacrificados en nuestra vida como familia, que requirió el cumplimiento de esta tesis, gracias por entender el significado del sacrificio.

Mayume Bebel Perez Robalino

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

Al Dr. Eloy Cuellar por la confianza brindada a través del área Forestal del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), para desarrollar este tema de investigación, en el Proyecto 121_PI “Innovación en el uso de maderas mediante la generación de tablas de propiedades tecnológicas relacionadas a edad utilizando métodos no destructivos en especies procedentes de plantaciones forestales de la región amazónica”.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria – Estación experimental Pucallpa, por el apoyo en facilitar la adquisición de las muestras requeridas para este proyecto.

Al CITEforestal Pucallpa, por el apoyo brindado en la elaboración de probetas que se requería para la ejecución del proyecto.

A la Ing. Haydeé Miriam Ramos León, por su disposición y paciencia durante el proceso y culminación; por sus aportes claves y palabras de aliento en todo momento.

A la Ing.Haru García e Ing.Yanett chumbimune por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias adquiridas; apoyo y comprensión durante este tiempo.

Al Ing. Jorge Alencar Vela por ser el mediador por el cual pude realizar este proyecto, que con su amplia experiencia y conocimientos me orientaron al correcto desarrollo de la tesis.

A mi asesor Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA VI

AGRADECIMIENTO VII

ABSTRACT XV

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I 3

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 3

1.1. Formulación del problema. 3

1.1.1. Problema general: 3

1.1.2. Problemas específicos: 4

CAPITULO II 5

II. MARCO TEÓRICO. 5

2.1. Antecedentes del problema. 5

2.2. La Especie - *Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke*. 23

2.2.1. Taxonomía de la especie. 23

2.2.2. Algunas propiedades de la madera. 27

2.2.3. Factores que afectan la resistencia mecánica. 29

2.2.4. Pruebas no destructivas (NDT). 30

2.2.5. Determinación de MOE (módulo de elasticidad). 33

2.2.6. Módulo de ruptura. 34

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS. 34

CAPITULO III 36

III. METODOLOGÍA. 36

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN. 36

3.2. Población y muestra. 36

3.2.1. Población. 36

3.2.2. Muestra no probabilística. 36

3.3. Procedimientos de recolección de datos. 37

3.3.1. Evaluación de módulo de elasticidad (MOE) por el método no destructivo. 38

3.3.2. Ensayo de evaluación del módulo de elasticidad (MOE) por el método Destructivo. 40

3.3.3. Ensayo de evaluación de tipo indirecta de la densidad básica ETID. 42

3.3.4. Ensayo de evaluación de la densidad básica por el tipo directo. 43

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 43

3.4.1. Técnicas. 43

3.4.2. Instrumentos. 43

3.5. Procesamiento de recolección de datos. 44

3.6. Tratamiento de datos. 44

CAPITULO IV 46

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46

4.1. Evaluación y comparación del módulo de elasticidad de la madera *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke (Shihuahuaco). 46

4.1.1. Método no destructivo. 46

4.1.2. Método destructivo. 47

4.1.3. Relación entre los MOE por el MND y MD. 49

4.2. Evaluación y comparación la densidad básica de la madera *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke (Shihuahuaco). 51

4.2.1. Densidad por el método directo. 51

4.2.2. Densidad por el método indirecto. 52

4.2.3. Prueba de dos muestras asociadas por par o pareados de la densidad. 52

4.2.4. Relación entre la densidad básica por el método directo e indirecto. 54

CAPITULO V 56

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 56

5.1. Conclusiones. 56

5.2. Recomendaciones. 57

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 58

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Formato de toma de datos..... 44

Tabla 2. Datos del MOE con el método no destructivo (equipo Ultrasonic Timer).... 46

Tabla 3. Datos del MOE con el método destructivo (prensa universal).... 47

Tabla 4. Datos de la diferencia del MOE de dos métodos de ensayo. 48

Tabla 5. Resumen de la prueba de significación de dos medias asociadas por par o pareados.... 49

Tabla 6. Análisis de regresión correlacional entre dos tipos de MOE.... 50

Tabla 7. Datos de densidad básica de las probetas utilizadas en el experimento por el método directo. 51

Tabla 8. Datos de densidad básica de las probetas utilizadas en el experimento por el método indirecto. 52

Tabla 9. Datos de densidad básica de dos métodos de ensayo.... 52

Tabla 10. Resumen de la prueba de significación de dos medias asociadas por par o pareados.... 53

Tabla 11. Análisis de regresión correlacional entre dos tipos de MOE.... 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mapa de distribución de la ***Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke***, (Shihuahuaco). Sinónimo de Dipteryx micrantha (Harms) “morfotipo 1” en el Perú de acuerdo a (Aldana & et al., 2016). 24

Figura 2. Aguja de acero del Penetrómetro Pilodyn (De Luján, 2017). 33

Figura 3. Carga kg. vs deformación (Escobar, 2018). 34

Figura 4. Modelo de corte de cada árbol (NTP 251.017, 2004). 37

Figura 5. Elaboración de probetas de flexión estática según (NTP 251.017, 2004). 38

Figura 6. Medidas de las probetas de flexión estática según (NTP 251.017, 2004). 38

Figura 7. Marcado de las probetas a 3 cm de cada lado dejando una luz de 35 cm. 39

Figura 8. Marcado de las probetas del lado radial o tangencial y colocado de puntos negros. 39

Figura 9. Conectado del temporizador Ultrasonic Timer. 39

Figura 10. Registro de los datos utilizando el temporizador. 40

Figura 11. Frontis de la UNALM. 41

Figura 12. Marcado de las probetas del lado radial o tangencial y colocado de los tres clavos dejando 35 cm de luz. 41

Figura 13. Probeta sometida al ensayo de flexión por el método destructivo. . 42

Tabla 1. Formato de toma de datos..... 44

Figura 14. Relación entre MOE del método no destructivo (MND) y el método destructivo (MD)..... 50

Figura 15. Relación entre la densidad básica del método directo y el método indirecto.....54

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo analizar y comparar el módulo de elasticidad y la densidad básica por dos métodos de evaluación, de la madera ***Dipteryx ferrea*** (ducke) ducke, (Shihuahuaco), Pucallpa – Ucayali. De una plantación de 23 años de edad teniendo como problema general: ¿Qué módulo de elasticidad y densidad básica tendrá la madera ***Dipteryx férrea*** (Ducke) Ducke bajo 2 métodos de evaluación. Sé utilizó el enfoque cuantitativo con diseño experimental a un nivel u alcance explicativo; evaluando 288 probetas con dimensiones de 41cm X 2.5 cm X 2.5 cm, se determinó el módulo de elasticidad (MOE) por el método no destructivo y el ensayo de evaluación del MOE por el método destructivo, así mismo se realizó el ensayo de evaluación de Tipo Directa e Indirecta de la densidad básica. La media del método no destructivo fue de 99975.88 Kgf/cm², inferior al método destructivo (117410.94 Kgf/cm²) de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco) , la media de la densidad del método indirecto fue de 1.09 g/cm^3, superior al método directo con 0.69 g/cm^3. La ecuación para el ajuste del MOE por el método no destructivo al MOE del método destructivo es: Y = -0.1266 + 0.7433X. La ecuación de ajuste de la densidad básica encontrado por el método no indirecto a la densidad por el método directo o gravimétrico, fue : DB(MD) = -0.1266 + 0.7433(MD).

Palabras clave: Densidad básica, flexión estática, métodos no destructivos, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

In the region, different studies were carried out on ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke wood. For which it is necessary to know the Modulus of elasticity MOE and basic density, of a plantation of 23 years; In this sense, I pose the following general problem: What modulus of elasticity and basic density will ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke wood have under 2 evaluation methods? which had as general objective to analyze and compare the modulus of elasticity and the basic density by two evaluation methods, of ***Dipteryx ferrea*** (ducke) ducke wood, (Shihuahuaco), Pucallpa - Ucayali. The experimental method was used; being 288 specimens of 41cm X 2.5 cm X 2.5 cm; following the evaluation of the modulus of elasticity (MOE) by the non-destructive method and the evaluation test of the MOE by the destructive method; Then, the Direct and Indirect Type evaluation test of the basic density was carried out. Reaching the following conclusions; the mean of the non-destructive method (99975.88 Kgf/cm²) is significantly different from the destructive method (117410.94 Kgf/cm²) of the wood ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco) and the mean of the density of the indirect method (1.09 g/ cm3) is significantly different from the direct method (0.69 g/cm3). The equation for the adjustment of the MOE found by the non-destructive method to the MOE of the destructive method is: Y = -0.1266 + 0.7433X. The adjustment equation of the basic density found by the non-indirect method to the density by the direct or gravimetric method is: DB(MD) = -0.1266 + 0.7433(MD).

Keywords: Basic density, static bending, non-destructive methods, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

Las maderas son investigadas para determinar su utilidad; para ello se hace necesario promocionar su uso y a la vez su reforestación; del mismo modo en estos últimos años en Ucayali se ha venido realizando estudios a la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke. Provenientes de bosques naturales.

Un parámetro relacionado con la calidad de la madera; es la densidad, ya que es una de las propiedades físicas más importantes, que se encuentra muy relacionada con las propiedades mecánicas, la dureza y el rendimiento en producción de tableros, madera sólida y pulpa celulósica (Vignote, 2013). Esta propiedad física se puede estimar haciendo uso del Pilodyn, equipo no destructivo que la mide a partir del índice de penetración de una aguja en la madera (Costa, 2012).

Sin embargo, es conocido que el valor de la densidad depende de las condiciones de humedad de la madera. Estas condiciones, implican la aplicación y validación de la eficiencia de tecnologías no destructivas en maderas provenientes de plantaciones con madera tropical (Panebra, 2018). En tal sentido la investigación esta referida al estudio de las propiedades mecánicas de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke proveniente de una plantación de 23 años de edad, mediante métodos directos (destructivo) e indirectos (no destructivo), es un gran desafío para la evaluación de esta propiedad el desarrollar métodos de evaluación rápidos, precisos y rentables para seleccionar los caracteres de calidad de la madera, sobre todo cuando en el país se está iniciando la aplicación de estas técnicas no destructivas en maderas de plantaciones con esta especie que tiene como objetivo general, analizar y comparar el módulo de elasticidad y la densidad básica por dos métodos de

evaluación, de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco), Pucallpa – Ucayali; y como objetivos específicos: Evaluar y comparar el módulo de elasticidad de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) de una plantación de 23 años de edad de la zona de Pucallpa por el método destructivo y no destructivo; Evaluar y comparar la densidad básica de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) de una plantación de 23 años de edad de la zona de Pucallpa utilizando el método directo e indirecto.

Del mismo modo la investigación está dividido en 6 capítulos: Capitulo I: Planteamiento del problema; Capitulo II: Marco teórico; Capitulo III: Metodología; Capítulo IV: Resultado y discusión; Capitulo V: Conclusiones y Recomendaciones; Capítulo VI: Referencias bibliográficas.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Formulación del problema.

Las investigaciones sobre las diferentes maderas que son propias de la región; buscan darle una utilidad estructural, tanto en construcción, como en carpintería u otro. En Ucayali se han venido realizando estudios a la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke; ya que de bosque natural se está extinguiendo, por la alta demanda a nivel de mercado nacional y mundial; de materiales de construcción; sin embargo, el manejo que se dan en los bosques naturales por medio de la regeneración natural no es suficiente para cubrir la demanda mundial y nacional.

Por consiguiente, se hace necesario conocer el módulo de elasticidad MOE y la Densidad básica de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, de 23 años y hacer uso de nuevas técnicas que permitan evaluar y monitorear la calidad de las maderas en áreas de alta producción. Lo cual, deberá hacerse en forma rápida, in situ y evitando efectuar pruebas destructivas con costosas perdidas de material.

En tal sentido se planteó como problema general y específicos lo siguiente:

1.1.1. Problema general:

- ¿Qué módulo de elasticidad y densidad básica tendrá la madera ***Dipteryx férrea (Ducke) Ducke*** bajo 2 métodos de evaluación?

1.1.2. Problemas específicos:

- ¿Qué valores de Módulo de elasticidad se obtendrá al evaluar la madera ***Dipteryx férrea (Ducke) Ducke*** con el método destructivo y no destructivo?

- ¿Qué valores de densidad básica se obtendrá al evaluar la madera ***Dipteryx férrea (Ducke) Ducke*** con el método directo e indirecto?

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes del problema.

Las maderas varían en relación del módulo de elasticidad y la densidad básica.

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.

Jesús, (2003) en su investigación “Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el ***Eucalyptus grandis*** de Argentina” el cual tuvo dos objetivos principales: 1) diseñar un método de clasificación visual por resistencia para la madera aserrada de ***Eucalyptus grandis*** cultivado en Argentina, y proponer su inserción en el sistema internacional de clases resistentes establecido en las normas europeas. 2) Desarrollar modelos para una clasificación mecánica por resistencia de la madera considerada, en el marco del sistema internacional citado precedentemente. Fue estudiada la eficiencia de parámetros mecánicos tanto simples como combinados para predecir la resistencia a flexión. La combinación del módulo de elasticidad con la densidad y la nudosidad produce la mayor correlación con la resistencia, pero también fue encontrada una muy buena relación para el módulo de elasticidad actuando como parámetro simple (Jesús, 2003).

Se analizaron perfiles de resistencia, rigidez y densidad basados en el parámetro combinado y en el módulo de elasticidad, con muy buenos rendimientos para ambos casos, lo cual prueba una excelente aptitud de esta especie para ser clasificada mecánicamente. La efectividad de ambos modelos fue probada también aplicándolos a la muestra de tablas sometidas

a ensayos de tracción paralela a las fibras, encontrándose un rendimiento similar al obtenido con las muestras sometidas a flexión (Jesús, 2003).

Los resultados obtenidos alientan futuros estudios relacionados a las otras propiedades de resistencia y rigidez de esta madera de rápido crecimiento, la cual exhibe muy buen comportamiento para los aspectos investigados, y puede comportarse ventajosamente tanto en calidad de madera aserrada como en la conformación de vigas laminadas encoladas (Jesús, 2003).

Arcos, (2009) en su investigación titulada “Validación de la teoría de vigas laminadas como estimador del módulo de elasticidad en flexión de vigas compuestas a base de madera” con el propósito de este trabajo de memoria de título es determinar la factibilidad de estimar el módulo de elasticidad en flexión de vigas (MOEV) compuestas a base de madera, mediante la aplicación de un modelo de teoría de vigas laminadas (TVL), basándose en el módulo de elasticidad en flexión de los elementos constituyentes de las citadas vigas compuestas (MOE). El objetivo principal de este trabajo fue validar la TVL como estimador del MOEV de vigas compuestas. Los objetivos específicos fueron analizar los resultados obtenidos del MOEV de vigas laminadas y vigas I, obtenidos en forma experimental y mediante la utilización de la TVL, y analizar el MOEV obtenido empíricamente de vigas laminadas y vigas I, respecto al MOEV de vigas de madera sólida de pino radiata (***Pinus radiata*** D. Don) de escuadría equivalente. Para aplicar la TVL, se evaluó el módulo de elasticidad en flexión de cada uno de las piezas o elementos constituyente de las vigas (MOE), estimándose posteriormente el módulo de elasticidad en tracción(E) para cada elemento de viga. Una vez obtenido E, se aplica la TVL. Con los elementos ya evaluados, se construyeron las vigas

compuestas, obteniéndose empíricamente el MOEV. A partir de los resultados obtenidos en forma práctica y mediante la TVL, mediante esta modelación se observó un valor promedio de 10.180 MPa y 7.216 MPa, para vigas laminadas y vigas I, respectivamente, mientras que, en el ensayo de flexión, los valores promedios observados son de 5.722 MPa y 5.354 MPa, respectivamente. El MOEV promedio observado para las vigas de madera solida fue de 5.045 MPa. Se concluye que el modelo de TVL aplicado en este estudio tiende a sobre estimar el MOEV, probablemente debido a que, por restricciones de equipo, no fue factible aplicar una relación luz de ensayo/espesor de la pieza en análisis semejante entre los ensayos de flexión para determinar el MOE y MOEV. Respecto a la obtención empírica de MOEV, se puede concluir que las vigas compuestas presentan en promedio un MOEV superior respecto a las vigas solidas de madera de escuadría equivalente (Arcos, 2009).

Igartúa, (2013) en su investigación “Densidad y propiedades mecánicas de la madera de ***Acacia melanoxylon*** implantada en Argentina” el cual tuvo como objetivo la determinación de la densidad normal y las propiedades mecánicas de la madera de ***Acacia melanoxylon*** implantada en Argentina, y en analizar la relación entre estas variables. El material se seleccionó al azar del obtenido del aserrado de 20 árboles provenientes de cuatro sitios del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Se determinó la densidad aparente conforme a la norma IRAM 9544 y los ensayos mecánicos se ejecutaron sobre cuerpos de prueba pequeños y libres de defectos según los lineamientos de la norma ASTM D 143. El valor medio de la densidad fue 564 $kg.m^3$ y la tensión de rotura mostró los siguientes valores medios: 89,9 kgf/cm^2 en flexión; 49,5

kgf/cm² en compresión paralela a las fibras; 11,7 kgf/cm² en compresión perpendicular y 11,6 kgf/cm² en corte paralelo. La dureza promedio alcanzó 45,3 kgf/cm² y el módulo de elasticidad en flexión exhibió un valor medio de 10926 kgf/cm². Los resultados de las propiedades mecánicas son los esperados para una madera de densidad media y pueden considerarse adecuados para el uso de la especie en la industria de la construcción y del mueble. Los modelos de regresión entre la densidad y las propiedades mecánicas exhibieron valores del coeficiente de determinación (R2) comprendidos entre 0,70 y 0,87. El modelo de regresión entre el módulo de elasticidad y la resistencia en flexión mostró un valor de R2 igual a 0,72 (Igartúa, 2013).

Sotomayor, (2014) en su estudio titulado “Caracterización mecánica de la madera con métodos no destructivos”, con el objetivo de determinar los módulos de elasticidad y de ruptura en flexión de probetas de madera de ***Prosopis sp.***, e identificar su modo de ruptura. Para lograrlo, se realizaron ensayos estáticos no destructivos de flexión transversal en probetas con orificios de 2.38 mm de diámetro. Los principales resultados fueron: El módulo de elasticidad y el módulo de ruptura fueron similares a los valores de maderas del mismo género encontrados en la bibliografía. El módulo de ruptura presentó una correlación importante con respecto al módulo de elasticidad. Las probetas presentaron ruptura del tipo tensión transversal a la dirección de la fibra en un 89% y, por otra parte, las probetas cuyo modo de ruptura fue en tensión simple representaron un 11%, denotando valores del MOE mayores con respecto al valor promedio del conjunto de las probetas (Sotomayor, 2014).

Donoso, (2016) en su investigación “PRODUCCIÓN DE VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA DE ALTA CAPACIDAD RESISTENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA CLASIFICADA MECÁNICAMENTE” con el objetivo de analizar el efecto de variar la calidad de uniones endentadas, tanto como la clasificación y la disposición de láminas, para cuantificar cambios en la resistencia y rigidez de vigas de MLE. Por lo cual, de acuerdo a los antecedentes de 95 probetas ensayadas a flexión y 160 a tracción, se identifica el criterio de producción, adhesivo escogido y resistencias alcanzadas. Por su parte, para evaluar la influencia de las láminas, se analizan incrementos en resistencia y rigidez en vigas, al variar su calidad y disposición. Se proponen así, 17 series, las cuales se forman al combinar 2 láminas clasificadas visualmente y 2 mecánicamente. Estas pueden estar dispuestas horizontalmente en toda la altura o ubicarse de manera vertical exclusivamente en el borde flexotraccionado. Los ensayos de 54 probetas arrojan que la incorporación de láminas de grados mecánicos aumenta el MOR a flexión característico entre un 40-50% y el MOE medio en 45%, versus vigas con láminas clasificadas visualmente. Además, la ubicación de láminas verticales en la zona flexotraccionada arroja un aumento de MOR a flexión característico entre un 30-40%, en contraste con el MOE medio que no experimenta cambios en comparación con vigas de láminas horizontales. Finalmente, con ambas mejoras, el MR aumenta en 95% y el MOE en 50% con respecto a la viga tipo que se fabrica actualmente en el país (Donoso, 2016).

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Jost, (2006) sostiene en su investigación “Propiedades físicas y mecánicas de la ***Araucaria angustifolia*** proveniente de plantaciones de Oxapampa” Provee información para cubrir parte de las necesidades de determinar las especies óptimas para utilizar en los proyectos de reforestación que se están llevando a cabo en Oxapampa. La especie en estudio ***Araucaria angustifolia*** procede de una plantación de 15 años localizada en Oxapampa. Los resultados permiten describirla en el grupo de propiedades físicas y mecánicas de baja densidad. Teniendo, para la mayoría de las propiedades físico-mecánicas, valores superiores en la parte basal del árbol y decreciendo con la altura. El cizallamiento, compresión perpendicular, flexión estática (ELP y MOR) y dureza tienen un nivel de correlación significativo con la densidad básica, para las dos últimas propiedades este nivel de correlación es alto con coeficientes de determinación que rodean el 80%. A partir de las características físico-mecánicas, requisitos de uso de la madera y la comparación con especies de densidad básica similar, se han propuesto los siguientes usos: Madera no estructural en muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, tejas debidamente preservadas, laminado, contrachapado y tableros de fibra y partículas (Jost, 2006).

Díaz, (2008) menciona en su investigación “Variación de las propiedades físicas de ***Calycophyllum Spruceanum*** (Benthan) Hooker f. Ex Chuman (Capirona) de una plantación de ocho años en la zona de Tingo María, Perú.” con el propósito de determinar las propiedades físicas de una plantación de 8 años de edad de la especie ***Calycophyllum spruceanum*** conocido vulgarmente como "capirona". Para determinar las propiedades físicas de la

especie se tuvo en cuenta las orientaciones norte y sur, para el análisis estadístico se utilizó el programa S.A.S, estableciendo para el análisis los datos de los tipos de muestra con respecto a las propiedades físicas, un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con sub unidades de muestreo, con cinco bloques y cuatro tratamientos, donde los bloques son los árboles y los tratamientos son las trozas (cuatro) obtenidas cada dos metros desde la base hasta el fuste. Aplicando las Normas del Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas Peruanas (NTP). Los resultados obtenidos: Densidad básica de 0,640 g/cm^3, contenido de humedad 68,72%, contracción longitudinal 0,208%, contracción radial 3,313%, contracción tangencial 6,561%, contracción volumétrica 9,636 %y la relación T/R 2,095%. Asimismo, la densidad básica, como las demás propiedades resaltaron más en orientación sur (Díaz, 2008).

Pantigoso, (2009) afirma en su investigación “Propiedades físicas y mecánicas de ***Calycophyllum spruceanum*** (Benth.) hook ex Schumann (Capirona) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Ucayali - Perú” en donde se obtuvieron promedios, rangos, intervalos de confianza y coeficientes de variación para las propiedades físicas y mecánicas de la madera de ***Calycophyllum spruceanum*** (Benth) hook ex ***Schumann*** (Capirona), procedente de una plantación experimental de 9 años ubicada en San Alejandro en el departamento de Ucayali, Perú. Los resultados nos demuestran que las propiedades contracción longitudinal y flexión estática varían axialmente. Se observa también altos coeficientes de variación para las propiedades de contracción longitudinal, tenacidad, tensión perpendicular (radial) y clivaje (radial). Los valores promedios del estudio son

inferiores a los reportados por bosque natural, sin embargo, permiten clasificar a la madera como de resistencia media, con densidad básica alta y contracción volumétrica media. Finalmente se recomienda utilizarla en estructuras ligeras, obras de carpintería, revestimiento, molduras, ebanistería y artesanía, además de presentar aptitud para ser usadas como postes (Pantigoso, 2009).

Sucksmith, (2009) realizó evaluaciones con métodos no destructivos de propagación longitudinal de ondas de 23 KHz (Microsecond Timer) y 45 KHz (Ultrasonic Timer) en la especie ***Cedrelinga cateniformis*** (Tornillo) con el objetivo de evaluar la eficacia de estas técnicas, en el cual demostró que los métodos no destructivos son válidos y eficientes para estimar tanto los MOEs longitudinales como transversales, obteniendo coeficiente de correlación muy aceptables. Además, encontró que el método de propagación longitudinal de una onda de 23 KHz (Microsecond Timer) permite obtener los valores más cercanos a los valores de Compresión paralela y flexión estática (Sucksmith, 2009).

Vilcayauri, (2009) en su investigación titulada "Propiedades físicas y mecánicas de ***Simaroula amara*** Aubl. (Marupá) proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt" con el objetivo de evaluar las propiedades físico- mecánicas de ***Simarouba amara*** Aubl. Para el estudio las muestras fueron extraídas de las plantaciones del campo experimental Alexander Von Humboldt. Los resultados confirman que el nivel longitudinal influye significativamente en la contracción radial, dureza, clivaje y tenacidad, asimismo, el nivel transversal influye significativamente

en la contracción longitudinal, flexión estática y extracción de clavos (Vilcayauri, 2009).

El análisis de regresión señala que el peso específico es un buen estimador sólo para la dureza de lados. Así también, se compararon los resultados con otras plantaciones, determinándose que la madera en estudio presenta mayor densidad básica, pero es más inestable y con mayor contracción volumétrica. Comparándola con bosque natural, la madera presenta menor densidad y menores valores en sus propiedades mecánicas. Finalmente se determinaron las aptitudes de uso, que son: cajonería liviana, carpintería, revestimiento interno, encofrados, juguetería, tablero de partículas, entre otros (Vilcayauri, 2009).

Cárdenas, (2012) afirma en su investigación "Determinación de las propiedades físicas en diferentes niveles del fuste de bolaina blanca (***Guazuma crinita*** C. Martius) en Tingo María" con la finalidad de determinar las propiedades físicas en el fuste de bolaina blanca (***Guazuma crinita*** C. Martius), se ha extraído árboles del centro poblado menor Shiringal, Huánuco con 10 años de edad. La selección y colección de árboles se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP- 251.002. Los árboles de bolaina presentaron diferencia estadística en el contenido de humedad incrementa desde la base hacia el ápice (77.6%, 80.8% y 98.4% respectivamente), mientras que en las orientaciones norte y sur (85.5% y 85. 8%) no hubo diferencia estadística. Estadísticamente los árboles y sus diferentes niveles del fuste presentaron diferencia en la densidad saturada, y en las orientaciones no hubo diferencia. Estadísticamente, no hubo diferencia significativa referente a la densidad anhidra entre los valores de cada árbol,

los diferentes niveles del fuste y las orientaciones. La densidad básica en los cinco árboles, los tres niveles del fuste (0.33 g/cm3, 0.32 g/cm3 y 0.32 g/cm3) y las orientaciones norte y sur no presentaron diferencias estadísticas. La contracción tangencial (5.16%) fue superior a la radial (3.30%) y longitudinal (0.18%). La contracción volumétrica determinada de los cinco árboles fue estadísticamente diferente; en la parte basal (8.88%) del fuste hubo mayor contracción que la parte media (8.26%) y apical del fuste (8.33%); las probetas extraídas de la parte sur del fuste han tenido mayor contracción en comparación a las probetas extraídas de la parte norte del fuste (Cárdenas, 2012).

Bustamante, (2018) menciona en su investigación "Validación de un método no destructivo para medir módulo de elasticidad en trozas de ***Calycophyllum spruceanum*** de una plantación en Ucayali - Perú", en donde se realizaron mediciones de módulo de elasticidad dinámico (MOED) y estático (MOEE) en la especie ***Calycophyllum spruceanum*** (Capirona), a un contenido de humedad saturado (CH > 30%). Se utilizaron los métodos de flexión estática y compresión paralela al grano para medir MOEE en probetas, según las normas NTP; y un método acústico (no destructivo) para medir MOED en trozas según la ecuación ρV2, empleando el equipo Treesonic Timer para el cálculo de la velocidad de propagación de ondas (V), y dos métodos para el cálculo de la densidad (ρ), uno destructivo (probetas, según la NTP) y uno no destructivo (estimación de la densidad con el equipo Pilodyn). También fueron evaluadas las siguientes propiedades mecánicas: resistencia a la compresión paralela a las fibras (RM) y resistencia a la flexión estática (MOR). El objetivo principal de este estudio fue encontrar la relación existente

entre los MOEE y MOED. Mediante los análisis de regresión lineal, se encontró que las variables que mejor se asocian con MOEF (MOE en flexión estática) y MOEC// (MOE en compresión paralela) son V y el MOED2 (MOE hallado utilizando la densidad estimada con Pilodyn). Adicionalmente, se realizaron análisis de regresión lineal a diferentes niveles de corte, obteniendo como resultado un buen ajuste en las zonas basal e intermedia entre las variables regresoras y las variables respuesta (Bustamante, 2018).

Sueros, (2017) señala en su investigación titulada "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de ***Guazuma crinita*** (Bolaina blanca) de tres edades" con el objetivo de realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de la especie ***Guazuma crinita*** de cuatro, cinco y seis años proveniente de plantaciones ubicadas en la provincia de Puerto Inca, departamento Huánuco con la finalidad de contribuir el conocimiento tecnológico de esta especie para fines silviculturales. La metodología empleada fue sistematizar y analizar datos de ensayos mecánicos provenientes de investigaciones anteriores. Se estableció un diseño factorial para verificar la influencia de la edad y nivel de corte en las propiedades mecánicas de la madera de raleo de esta especie, mediante los estadísticos descriptivos (media, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos) y utilizando las pruebas estadísticas MANOVA y ANOVA se obtuvieron los resultados correspondientes. Es así que los resultados nos muestran que las propiedades mecánicas de la madera de raleo varían con la edad y nivel de corte. Asimismo, la edad ejerce mayor influencia en las propiedades mecánicas de flexión estática (ELP y MOR), compresión paralela (ELP y MOE) y compresión perpendicular (ELP). El

comportamiento mecánico de la madera de raleo para las tres edades presenta una tendencia creciente desde los 4 a 5 años y decrece hacia la edad de 6 años, este comportamiento anómalo puede ser efecto de la condiciones de sitio y la posible presencia de madera de tensión en la madera de raleo de 6 años (Sueros, 2017).

Cuellar, (2018) en su informe de investigación “EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL TORNILLO ***Cedrelinga cateniformis*** DUCKE PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN UCAYALI MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS” el cual consistió en la determinación preliminar del Módulo de Elasticidad (MOE), una de las propiedades mecánicas más importantes para la determinación del uso potencial de la madera, utilizando técnicas no destructivas con equipos como el Microsecond y el Ultrasonic Timer que básicamente trabajan bajo el principio de propagación de una onda de ultrasonido que se transmite de un sensor a otro en un material siendo este caso la madera. Para esta evaluación se utilizaron probetas de flexión estática del método primario (elaboradas según lo establecido en las Normas Técnicas Peruanas) de la especie Tornillo procedente de una plantación de 17 años de edad del anexo Experimental INIA Alexander Von Humboldt (AVH) en Ucayali. Posteriormente los resultados fueron validados y comparados con ensayos destructivos utilizando la prensa Universal de ensayos mecánicos. En conclusión; el mayor valor de MOE se obtuvo con el Microsecond Temer y el menor fue el obtenido de manera convencional con la prensa mecánica. Existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos con los métodos no destructivos y destructivos para flexión estática. En función a los resultados

de la prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos con Microsecond y Ultrasonic Timer. Los equipos de Microsecond Timer y Ultrasonic Timer se correlacionan linealmente con el MOE de Flexión Estática con coeficientes aceptables. La densidad presenta mejor coeficiente de correlación con el valor de MOE obtenido mediante el Microsecond Timer (Cuellar, 2018).

Panebra, (2018) afirma en su investigación “Evaluación no destructiva de la densidad en madera de plantaciones de dos especies forestales”, el cual evaluó la aplicación del Pilodyn como método no destructivo para determinar la densidad a distintas condiciones de humedad. La determinación de la densidad por método destructivo, y de los distintos contenidos de humedad a los que se evaluó, se realizó según lo indicado en sus respectivas Normas Técnicas Peruanas. La muestra en estudio consistió en un total de 187 probetas de dimensiones 5 x 5 x 8 cm, elaboradas a partir de madera de la base de dos árboles de ***Cedrelinga cateniformis*** (Tornillo), y 210 probetas de dimensiones 2,5 x 2,5 x 10 cm elaboradas a partir de madera de la base, del medio y del ápice de dos árboles de ***Capirona Calycophyllum*** spruceanum. A estas probetas se les determinó la densidad, por el método de peso e inmersión, y la profundidad de penetración con Pilodyn en cada una de las tres condiciones de humedad: saturada, equilibrio y anhidra. Los resultados obtenidos para Tornillo muestran que existen diferencias significativas entre las penetraciones con Pilodyn a distintas condiciones de humedad, excepto entre las condiciones de equilibrio y anhidro, lo cual estaría explicado por la composición anatómica que presenta la madera en mención. En el caso de Capirona se determinó que existen diferencias

significativas entre las condiciones de humedad para cada nivel longitudinal, siendo el nivel longitudinal poco influyente en la variabilidad de los resultados obtenidos. Se encontró relación significativa entre la densidad y la penetración con Pilodyn para ambas especies, obteniéndose coeficientes de correlación y de determinación aceptables, excepto para la condición de humedad de equilibrio en Capirona (Panebra, 2018).

2.1.3. Antecedentes regionales.

Arbildo, (2015) afirman en su investigación “Determinación de los valores de algunas propiedades físicas y su variación por niveles de fuste de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) de una plantación de tres años de edad del distrito de Campoverde, región Ucayali”; el cual tuvo como objetivo determinar algunas propiedades físicas de la especie ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke (shihuahuaco) y sus variaciones por niveles del fuste, en árboles provenientes de una plantación de tres años de edad, en el marco del proyecto de reforestación que ejecuta la empresa BAM S.A.C., localizada a 46 km de la ciudad de Pucallpa, Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. Se trabajó con cinco arboles; todo el material fue trasladado al laboratorio de anatomía y propiedades físicas de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se realizó los ensayo respectivos de acuerdo a la norma ASTM D 143-94, y Normas Técnicas Peruanas 251.009, 251.01 O, 251.011, 251.012, adaptándolas a los procedimientos rutinarios del Laboratorio. Los resultados indican que existen diferencias altamente significativas entre los valores de contenido de humedad saturado 56.09%, contenido de humedad seco al aire, densidad saturada, densidad seca al aire 0.84 gr/cm^3, densidad seca al horno,

densidad básica 0.69 gr/cm^3; para la contracción radial 5.77% se tiene diferencias significativas. Así mismo existe una tendencia de que los valores de las diferentes densidades disminuyan conforme se incrementa la altura. De acuerdo a la clasificación establecida por la JUNAC, el índice de contracción volumétrica es medio, 12.57 % (Arbildo, 2015).

Davila, (2020) comenta en su investigación “Propiedades físicas básicas de la madera de ***Pterygota amazónica*** LO Williams ex Dorr (paujil ruro) y su variabilidad en los tres niveles longitudinales del Fuste, proveniente de la Sub Cuenca Shahuanya – distrito de Masisea – provincia de Coronel Portillo - departamento de Ucayali” el cual tuvo como objetivo general, determinar los valores de las propiedades físicas básicas de la madera de ***Pterygota amazónica*** LO Williams ex Dorr (paujil ruro) y su variabilidad en tres niveles del fuste. Los resultados evidencian en la especie estudiada que no existe diferencias significativas en el contenido de humedad saturada y seca al aire de la madera entre tres niveles longitudinales del fuste, que por su contenido de humedad saturada tiene la denominación de madera verde (madera cortada en el bosque), y por su contenido de humedad seca al aire se le considera como desecada en Interiores. Con relación al peso específico seca al aire de la madera; no existen diferencias significativas entre los tres niveles longitudinales del fuste; pero si existen diferencias significativas en la densidad saturada, seca al aire, seca al horno y básica de la madera, que por su densidad básica es una madera alta densidad. Se encontró también que no existe diferencias significativas en la contracción radial y la relación T/R de la madera entre tres niveles longitudinales del fuste; pero si existen

diferencias significativas en las contracciones tangencial, longitudinal y volumétrica de la madera. En consecuencia, por su índice T/R y contracción volumétrica es considerada como madera muy estable y de contracción media. Y los posibles usos de la madera de ***Pterygota amazónica*** LO Williams (paujil ruro) son: Carpintería en general, Moldura de barandas y pasamanos, Tapamarcos, Rodones, Zócalos y contra zócalos (Davila, 2020). Gomez, (2019) menciona en su investigación “Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tableros contrachapados de ***Ceiba Pentandra*** l. gaertn (Lupuna blanca), de tres empresas triplayeras de Pucallpa”; el cual tuvo como objetivo principal determinar las propiedades físicas y mecánicas de tableros contrachapados de ***Ceiba pentandra*** L. Gaertn (lupuna blanca), de tres empresas de tableros contrachapados de Pucallpa; con la finalidad de generar información base para las personas ò empresas que utilizan en distintas actividades los tableros contrachapados. El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali y en el laboratorio de tecnología de la madera de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Para ello se utilizó dos tableros contrachapados de cada empresa, de calidad BC según lo indicado en la Norma Técnica Peruana - NTP 251.040 (2010), de donde se tomaron diez probetas para cada ensayo, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas Peruanas respectivas. Los resultados encontrados del presente estudio indican que existe diferencia significativa de las propiedades físicas y mecánicas de tableros contrachapados de ***Ceiba pentandra*** L. Gaertn (lupuna blanca) de tres empresas de tableros contrachapados de Pucallpa.

La densidad en equilibrio promedio es de 0,45 g/cm^3; siendo mayor la densidad en Industrias GINA SAC con 0,48 g/cm^3. El módulo de ruptura promedio de un corte longitudinal es de 667,82 daN/cm^2; presentando mayor módulo de ruptura Industrias GINA SAC con 744,01 daN/cm^2 y el módulo de ruptura promedio de un corte transversal es de 167,03 daN/cm^2; siendo mayor el módulo de ruptura en Industria GINA SAC. La dureza promedio es de 208,45 Kgf/cm^2; presentando mayor dureza Industrias GINA SAC con 218,09 Kgf/cm^2 (Gomez, 2019).

Lluncor, (2015) afirma en su investigación “Determinación de las propiedades mecánicas del Culmo de ***bambusa vulgaris*** var. Vittata (bambú), en tres Niveles de altura y dos estados de madurez, en el Campus de la UNIA” con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de ***Bambusa vulgaris*** var. vittata, en tres niveles de altura (base, medio y ápice) y dos estados de madurez (verde y maduro), utilizando como material 10 culmos (5 verdes y 5 maduros) recolectado de cinco matas de bambú dentro del campus de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Se utilizó el diseño estadístico y prueba de promedios. Se determinaron tres propiedades mecánicas: compresión paralela, compresión perpendicular y cizallamiento, y los resultados obtenidos fueron que en compresión paralela, para el esfuerzo al límite proporcional (ELP), en estado verde fue 111.93 kg/cm², en estado maduro 250.13 kg/cm² y en los niveles de altura se obtuvieron para base 176.4 kg/cm², medio 111.9 kg/cm² y ápice 254.8 kg/cm²; con respecto a la resistencia máxima el culmo maduro presento 377.33 kg/cm² y el culmo verde 303.47 kg/cm² y en los niveles de altura, la base fue de 409.6 kg/cm², el medio 262.3 kg/cm² y el ápice 349.3 kg/cm²; en relación al módulo de

elasticidad (MOE) para el culmo verde se obtuvo 34880.5 kg/cm² y el culmo maduro 29478.3 kg/cm², y en los niveles de altura la base fue 21900.8 kg/cm², el medio 29997.8 kg/cm² y ápice 44639.6 kg/cm². Asimismo, los resultados estadísticos mostraron valores promedios en compresión perpendicular, en el culmo maduro 52.67 kg/cm², en estado verde 15.13 kg/cm² y en los niveles de altura, para base 42.4 kg/cm², medio 23.3 kg/cm² y ápice 36.0 kg/cm²; en relación a cizallamiento, del culmo verde con 48.8 kg/cm² y maduro con 59.27 kg/cm² y en los niveles de altura para base 47.3 kg/cm², medio 56.8 kg/cm² y ápice 58 kg/cm². No se logró determinar las propiedades mecánicas en flexión estática ya que los resultados fallaron en un 80 % arrojando valores a cero (Lluncor, 2015).

Pecho, (2016) sostiene en su investigación “Evaluación de las propiedades físicas de ***Zanthoxylum riedelianum*** Engl (Hualaja) a tres niveles, tres secciones transversales y dos orientaciones del fuste, provenientes de la zona de Tournavista – Huánuco”; el cual tuvo como propósito de determinar las propiedades físicas de ***Zanthoxylum riedelianum*** Engl (hualaja) en tres niveles del fuste (base, medio y ápice), a tres secciones transversales (interno, centro y externo) y a dos orientaciones cardinales (este y oeste); utilizándose para ello, cinco arboles de la misma especie de las cuales se obtuvo 90 muestras experimentales (probetas). Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa SPS Statisticc versión 20, estableciendo para el análisis de los datos las variables con arreglo factorial de 3 niveles x 3 secciones transversales x 2 orientaciones

cardinales x 5 repeticiones. Los resultados obtenidos para el contenido de humedad saturada fueron de 80.46% en promedio, en cuanto a los niveles del fuste el ápice presentó mayor valor (82.4%); con respecto a las secciones transversales la interna presento mayor humedad (88.1%), también se observó que la orientación oeste fue mayor. Para las densidades fueron: saturada 0.85g/cm^3, anhidra y básica fue 0.47g/cm^3 clasificando a la especie como densidad media. Con respecto a las orientaciones cardinales no se observó altas diferencias. Las contracciones en promedio fueron: radial 4.48%; tangencial fue de 7.91%, longitudinal 0.29%, volumétrica 11.12% y relación T/R 1.79%. Por todo ello se puede manifestar que la especie estudiada ***Zanthoxylum riedelianum*** Engl, es una madera con densidad media y estable a los cambios dimensionales lo que facilitaría su trabajabilidad, para el secado de esta especie se tiene que aplicar diferentes programas de secado según nivel de fuste debido a la base que presenta mayor contenido de humedad con respecto al nivel medio y ápice (Pecho, 2016).

2.2. La Especie - *Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke*.

2.2.1. Taxonomía de la especie.

a) Clasificación Taxonómica: Según (Aldana & et al., 2016) (IIAP, 2018-a) dan la siguiente clasificación:

Orden : Fabales

Familia : Fabácea

Subfamilia : Faboideae

Tribu : Dipteryxeae

Género : Dipteryx

Especie : férrea

Nombre científico : ***Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke.***

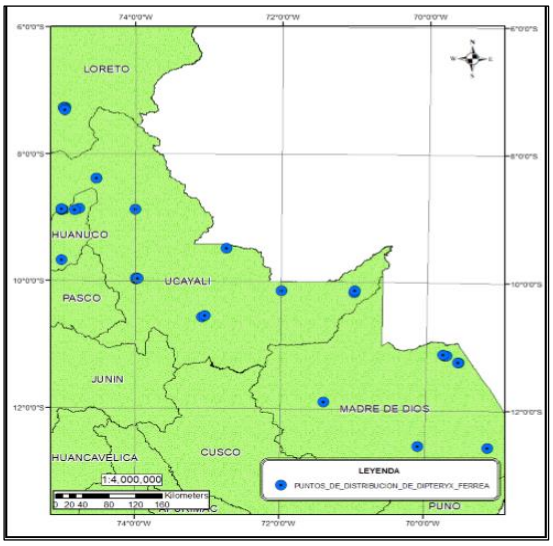
Nombres sinónimos : ***Dipteryx micrantha (Harms) Ducke***.

Nombre común : "Shuihuahuaco"

Nombre comercial internacional: Cumaru ferro.

b) Distribución geográfica.

Figura 1.
Mapa de distribución de la ***Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke****, (Shihuahuaco). Sinónimo de Dipteryx micrantha (Harms) "morfotipo 1" en el Perú de acuerdo a* (Aldana & et al., 2016).



En Latinoamérica se distribuye por Perú, Colombia y Bolivia, Crece en zonas altas y en áreas no inundables cerca de los ríos. A nivel nacional esta especie se desarrolla en las regiones de Ucayali, Huánuco, Madre de Dios y Loreto según (Aldana & et al., 2016).

c) Características del árbol.

Los árboles alcanzan los 40 metros de altura100 cm de diámetro; con aletones empinados de 4 metros de altura y 1.5 metros de ancho; algunas veces en árboles jóvenes, los aletones se prolongan tenuemente hacia arriba del tronco, dando el aspecto a un tronco acanalado, mostrando concavidades y convexidades longitudinales; en arboles maduros el

tronco es cilíndrico. Copa amplia y aparasolada. La superficie del tronco es lisa, de color pardo grisáceo a pardo amarillento; se desprende en placas irregulares de hasta 1cm de grosor, corchosas hacia el interior; al desprenderse quedan huellas circulares en bajo relieve, de color marrón anaranjado, dando la apariencia de martillado, la corteza viva está compuesta de dos capas de 2 mm de espesor de acuerdo a (PROMPEX, 2011).

d) Usos de la especie.

Su fruto es comestible. La madera es dura, se usa para la elaboración de pisos y exteriores, sus semillas son aromáticas (IIAP, 2018).

e) Características de las hojas.

Sus hojas son compuestas, imparipinnadas (3-5) y alternas; además los pares de foliolos, distanciados de 2.0 a 6.8 cm, foliolos basales opuestos, elíptico-ovalados, base redonda a obtusa, ápice ampliamente acuminado, 6.3-22.4 cm de largo y 3.4-8.0 cm de ancho; (Aldana & et al., 2016).

f) Características de las flores y frutos.

Inflorescencias en panículas terminales, flores 1.0 a 1.5 cm de longitud, pedicelo de 0.2 a 0.3 cm de longitud, cáliz de 0.2 a 0.3 cm de longitud, corola de 0.6 a 1.0 cm de longitud, receptáculo y sépalos lilas, alas y quilla violetas, estandarte lila con machas violetas. Frutos drupas indehiscentes, carnosas, de forma globosa y una semilla alargada (Aldana & et al., 2016). La floración ocurre en los meses de julio y octubre; la fructificación en los meses de agosto y noviembre como lo menciona el (IIAP, 2018).

g) Características de la madera.

El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco amarillento y las capas internas (duramen) de color marrón con jaspes claros, observándose entre ambas una gran y abrupto contraste de color. La madera seca al aire la albura se trona de color blanco rosáceo y el duramen marrón rojizo (PROMPEX, 2011).

Olor : Distintivo y característico.

Lustre o brillo : Moderado a elevado.

Grano : Entrecruzado.

Textura : Media.

Veteado o figura : Bien definido, arcos superpuestos y bandas angostas, paralelas, satinadas, jaspeado amarillo en la sección tangencial.

h) Características tecnológicas.

Según (PROMPEX, 2011) el Shihuahuaco es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en la categoría alta.

Propiedades físicas:

Densidad básica	:	0.87 g/cm3.
Contracción tangencial	:	9.10%
Contracción radial	:	5.50%
Contracción volumétrica	:	15.00%
Relación T/R	:	1.60

Propiedades mecánicas:

Módulo de elasticidad en flexión	:	153 000 kg/cm2.

Módulo de rotura en flexión	:	1 286 kg/cm2.
Compresión paralela (RM)	:	672 kg/cm2.
Compresión perpendicular (ELP)	:	150 kg/cm2.
Corte paralelo a las fibras	:	145 kg/cm2.
Dureza en los lados	:	1 353 kg/cm2.
Tenacidad (resistencia al choque)	:	6.2 kg-m.

La madera presenta una mayor dificultad que la normal para el aserrado debido a su dureza y grano entrecruzado por lo que es recomendable utilizar herramientas adecuadas y sierras de cinta estelitadas.

Piezas grandes seca con dificultad en forma natural, presentándose problemas de alabeos, en el secado artificial presenta buen comportamiento con un programa suave de 10 días para piezas de pequeñas dimensiones de 13 mm de espesor. Es resistente al ataque biológico; no requiere ser preservada (PROMPEX, 2011).

2.2.2. Algunas propiedades de la madera.

a) Densidad.

Igartúa, (2013) menciona que la importancia de esta propiedad radica en la influencia que tiene sobre el rendimiento y la calidad del producto final y porque es fuertemente heredable, además de ser indicadora de muchas de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Notivol, (1992) señala que la densidad de la madera es expresión relativa de los distintos elementos celulares que la componen (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima) y de la variación de su pared celular, lumen

y espacios intercelulares. Fundamentalmente depende de tres factores: porcentaje de madera de otoño, tamaño de las células y del grosor de la pared celular.

b) Flexión estática.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, aplicada en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta. IRAM 9542 (1965) citado por (Spavento & keil, 2008)**.**

Los parámetros que se determinan en el ensayo de flexión estática son:

- **Tensión en el límite de proporcionalidad (σ f,lim):** Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión a que se puede someter el material sin que se produzcan deformaciones permanentes.
- **Módulo de ruptura (Rf):** Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material, antes que se produzca la falla. Cualquier incremento adicional de carga sobre el material provocará la ruptura de éste
- **Módulo de elasticidad en flexión (Ef):** Es la medida de la rigidez del material. Su cálculo se basa en la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud experimentada por una probeta sometida a flexión.
- Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solamente a condiciones de trabajo de la zona dentro de la zona elástica de la curva versus deformación.

2.2.3. Factores que afectan la resistencia mecánica.

Haygreen y Bowyer, citados por (Meléndez, 2011), menciona que las propiedades físicas y mecánicas están determinadas por tres características principalmente: la organización de la estructura celular que influye sobre la micro estructura de las paredes celulares y sobre la variedad y proporción de los diferentes tipos de células; la proporción de los espacios vacíos que pueden estimarse midiendo la densidad; y el contenido de humedad. De este modo, (Vignote, Martínez, & Villasante, 2013) & (Matínez, 2016) mencionan que la influencia de la humedad en los valores de resistencia mecánica varía con el esfuerzo, se puede aproximar que cuando la madera aumenta en 1 por ciento su porcentaje de humedad, la resistencia merma entre el 1.5 por ciento y el 2 por ciento.

Arroyo, (1983) afirma que las diferencias en las propiedades mecánicas, la estabilidad dimensional o la durabilidad, pueden obedecer a razones poco evidentes tales como tipos y organización de las células dentro de los anillos de crecimiento, composición y cantidades de extractivos, orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, o el espesor y la estructura de la pared secundaria. Siendo el peso específico una medida de la cantidad relativa de sustancia de la pared celular, es el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia de la madera. La efectividad de la madera para resistir cualquier fuerza es también función de las proporciones en que se encuentran los componentes de la pared celular y también la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células.

2.2.4. Pruebas no destructivas (NDT).

Ross, (1999) define los ensayos no destructivos (NDT) como una técnica para identificar las propiedades físicas y mecánicas de materiales sin alterar su capacidad de tener un uso final. La información recolectada se puede usar para determinar la aplicación apropiada de dicho material. Además, señala que en la actualidad hay un gran interés por el desarrollo de diferentes tipos de NDT para evaluar árboles en pie. La técnica que estudia las características de transmisión de ondas sonoras, es considerada la mejor para la evaluación de árboles en pie.

Wang, (2001) explica que la propagación de ondas es un proceso dinámico relacionado con las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Diferentes tipos de ondas pueden propagarse en la estructura de la madera, tales como las ondas longitudinales y ondas transversales. Las ondas longitudinales son las más veloces de todas las ondas y son usadas c.-ñomúnmente para la evaluación de las propiedades de la madera. Las ondas longitudinales son usadas para medir dos propiedades fundamentales de materiales: conservación de energía y disipación de energía. La conservación de energía es representada por la velocidad con la que se mueve una onda dentro de un material. En contraste, la proporción de la pérdida de velocidad es la medida para la disipación de la onda. Con estos supuestos se creó la hipótesis de que estos fundamentos son controlados por los mismos mecanismos que determinan las propiedades estáticas de dichos materiales; pudiéndose obtener relaciones matemáticas entre

estas propiedades y la flexión estática y determinar la resistencia a través de análisis de regresión estadística, (Wang, 2001).

Wang, *et al.,* (2005) describe que la propagación de ondas es un proceso dinámico muy complejo que está controlado por las propiedades, la orientación y la microestructura de las fibras, pero la característica más importante es la forma geométrica del material. Al monitorear y medir el proceso de propagación de las ondas en madera en verde o productos de madera, se puede obtener información muy útil, tal como el módulo de elasticidad, densidad, contenido de humedad y la presencia de defectos.

Halabe, (1995) menciona que se han desarrollado regresiones relacionando parámetros no destructivos, como la velocidad de ondas, con valores de módulos de elasticidad de flexión estática para diferentes especies de madera seca. El valor de coeficiente de determinación (R2) de dichas regresiones oscila entre 0,61 y 0,9.

Pelizan, (2004) precisa que la propagación de una onda en el interior de la madera es caracterizada por un efecto de disminución de su amplitud (atenuación de la onda) resultado de los fenómenos de dispersión y absorción. Asimismo, menciona que la velocidad de propagación de una onda dentro de la madera es:

- Mayor en la dirección longitudinal (propagación por las fibras) que en la dirección radial (propagación por los radios), siendo menor aun en la dirección tangencial (propagación desorientada).
- Mayor cuanto mayor sea el largo de las fibras.

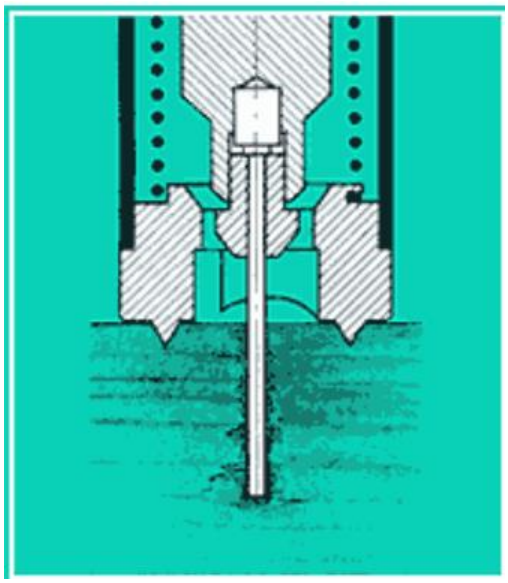
- Menor cuanto mayor es la porosidad y permeabilidad de la pared celular, considerando una densidad constante en la dirección considerada.
- Mayor cuanto mayor es la densidad, en cualquiera de las tres direcciones considerando un contenido de humedad constante a lo largo de la muestra.
- Mayor cuanto mayor es la continuidad de regiones cristalinas de la pared celular (mayor presencia de celulosa que de lignina y hemicelulosa), decreciendo con el aumento de regiones amorfas (mayor presencia de hemicelulosa y lignina que de celulosa).

a) Penetrómetro PILODYN.

Es un aparato de medida de dureza de la madera de utilización muy sencilla. Hace posible detectar objetivamente la extensión de deterioro por podredumbre y de determinar la disminución de dureza que esta pérdida ha generado. Pero se puede utilizar en general para determinar la calidad y dureza de todo tipo de elementos de madera (De Luján, 2017).

Penetrómetro PILODYN Aparato de ensayo no destructivo para el control de dureza de la madera Con Pilodyn se puede determinar la densidad de la madera viva o en postes y vigas a través de un método rápido y no destructivo. El procedimiento de cortar y medir el crecimiento de los anillos anuales del núcleo radial en árboles vivos (De Luján, 2017).

Figura 2.
Aguja de acero del Penetrómetro Pilodyn (De Luján, 2017).



PILODYN funciona mediante el disparo de una aguja de acero (Ø 2,5 mm. o Ø 2,0 mm.) sobre la madera con una energía uniforme. La profundidad de penetración se lee en una escala. La punta se cambia cada 5.000 golpes aproximadamente (De Luján, 2017).

2.2.5. Determinación de MOE (módulo de elasticidad).

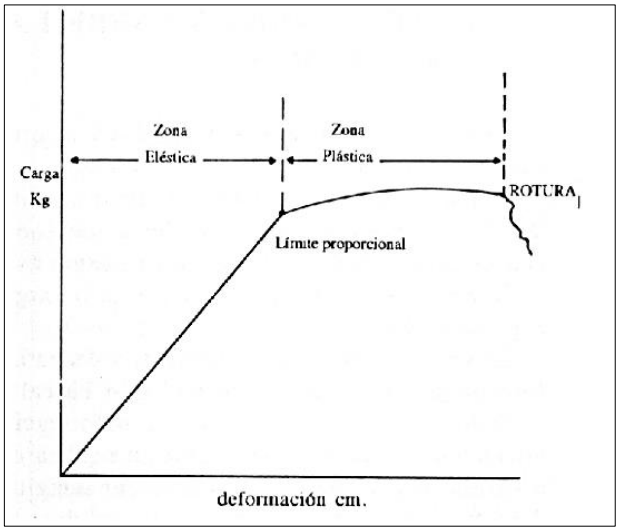
Arroyo, (1983) explica en relación a los ensayos no destructivos, que en la madera, tanto la resistencia como la correspondiente elasticidad dependen del peso específico y la presencia de defectos, entre ellos madera de reacción y pendiente del grano. Se ha demostrado que existe una estrecha correlación entre el módulo de ruptura y módulo de elasticidad en flexión, entre la máxima resistencia a la compresión paralela y el módulo de Young, y también entre la máxima resistencia a la tensión y el módulo de Young. La determinación de la elasticidad en piezas de madera de tamaño estructural es bastante sencilla y se puede lograr sin dañar la madera utilizando los métodos estático o vibratorio (Arroyo, 1983).

2.2.6. Módulo de ruptura.

El módulo de ruptura se deriva de ensayos de laboratorio, aplicando cargas crecientes en el centro de un espécimen de madera, soportado en los extremos hasta que esta falla (se rompe). Una viga de madera que presenta un MOR = 100 Kg/cm^2 será dos veces más fuerte en flexión que otra viga del mismo tamaño que tenga un MOR = 50 Kg/cm^2 (Escobar, 2018).

Módulo es un numero o cantidad que mide una fuerza (Escobar, 2018).

Figura 3.
Carga kg. vs deformación (Escobar, 2018).



2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Densidad básica.

Relación entre el peso seco al horno de la madera y su volumen verde Arostegui, (1982).

Ensayos invasivos.

Todos aquellos ensayos en los que al realizarlos se produce algún daño en el material ensayado (como los ensayos de resistencia a la

penetración, resistencia al arranque de tornillos, probeta testigo, etc.) (Venes, 2008).

Ensayos no invasivos.

Todos aquellos ensayos en los que al realizarlos no se produce ningún daño en el material ensayado (como por ejemplo la tomografía, los rayos X o el espectro infrarrojo entre otros) (Venes, 2008).

Flexión estática.

Arostegui, (1982) resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga.

Métodos no destructivos.

Ensayos sobre un material sin alterar de forma significativa las propiedades o características principales que definen su uso final, (Matínez, 2016).

Propiedades mecánicas.

Arroyo, (1983) afirma que las propiedades mecánicas de la madera como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas o cargas; esta fuerza expresada por unidad de área o volumen es un esfuerzo.

CAPITULO III

III. METODOLOGÍA.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

En la investigación se utilizó el enfoque cuantitativo con diseño experimental a un nivel u alcance explicativo; debido a que se realizó con un orden secuencial; las variables y ensayos fueron controlados; además fueron medidas para explicar en qué condiciones se relacionan las variables en estudio; como lo señalan los autores (Hernández, 2017), (Ñaupas H., *et al*., 2018), (Fuentes D., *et al*., 2020).

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

La población estuvo representada por toda la plantación de ***Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke***, (Shihuahuaco), constituida por 66 árboles, que se encuentran en la estación experimental de Pucallpa – INIA.

3.2.2. Muestra no probabilística.

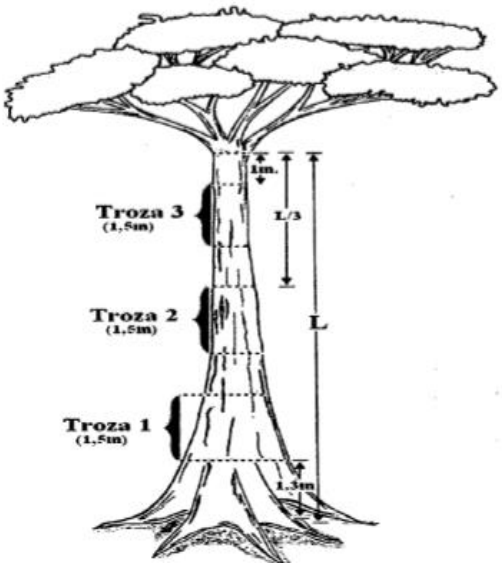
El tamaño de la muestra estuvo representado por tres árboles de ***Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke***, (Shihuahuaco); siendo la muestra no probabilística. La norma **COPANT 458**; señala que el tamaño de la muestra dependerá del grado de precisión que se desee lograr en los diferentes ensayos: Para estudios tecnológicos que permitan obtener un valor promedio de las propiedades físicas y mecánicas principalmente, debe tomarse una muestra de por lo menos tres (03) árboles por población, para especies conocidas.

3.3. Procedimientos de recolección de datos.

a) Selección de árboles.

Se seleccionaron 3 árboles aleatoriamente *Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke*, (Shihuahuaco) que cumpla con las siguientes características de acuerdo a las especificaciones de la Norma (COPANT, 458, 1972) y la norma NTP 251.008 citado en (Ramos, 2016); buen estado fitosanitario, rectitud del tronco, diámetro representativo de la población y que se encuentre en un lugar accesible

Figura 4.
Modelo de corte de cada árbol (NTP 251.017, 2004).



b) Transporte de las trozas al taller de carpintería de CITE forestal.

Mediante el uso de un vehículo las trozas fueron transportadas al taller de carpintería de **CITE forestal** de Pucallpa, para la elaboración de probetas.

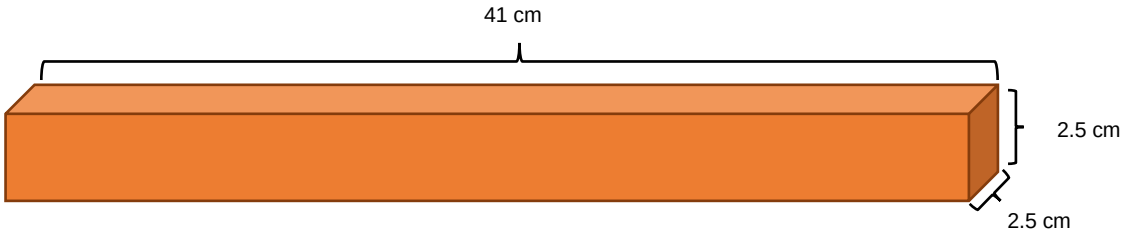
Figura 5.
Elaboración de probetas de flexión estática según (NTP 251.017, 2004).



c) Elaboración de las probetas.

El dimensionado de las probetas fueron como se observa en la Figura 6.

Figura 6.
Medidas de las probetas de flexión estática según (NTP 251.017, 2004).

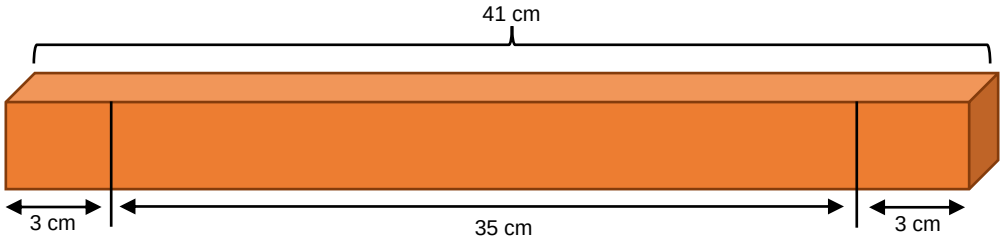


3.3.1. Evaluación de módulo de elasticidad (MOE) por el método no destructivo.

Evaluación del módulo de elasticidad con el equipo Ultrasonic Timer. La metodología que se utilizó; se muestra a continuación, según (NTP 251.017, 2004):

a) Se marcaron en cada probeta la luz (35 cm) dejando en ambos lados 3 cm.

Figura 7.
Marcado de las probetas a 3 cm de cada lado dejando una luz de 35 cm.



El ensayo de la flexión estática se realizó con una probeta de 2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm de longitud total (luz 35 cm), (NTP 251.017, 2004).

b) Se identificaron en cada probeta el lado radial y tangencial (se marcó con una cruz) para poder evaluar con los equipos no destructivos, los cuales fueron colocados en los puntos negros, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8.
Marcado de las probetas del lado radial o tangencial y colocado de puntos negros.



c) Se conectaron los sensores en la caja del temporizador del equipo y se procede a encenderlo.

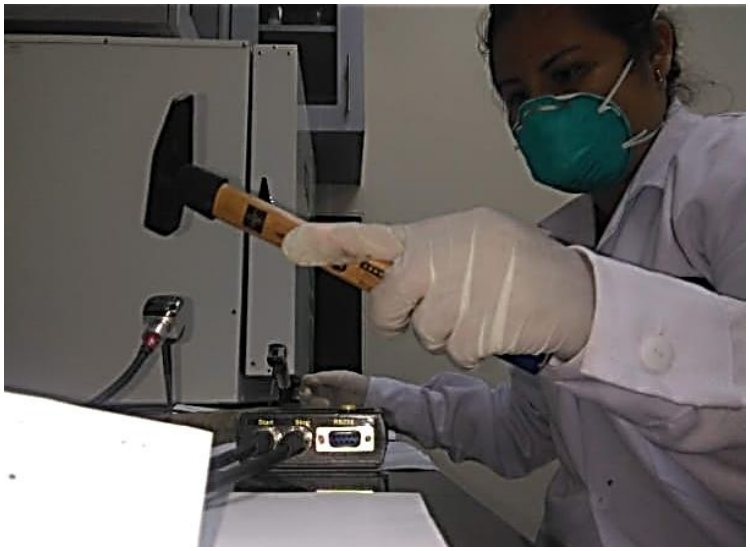
Figura 9.
Conectado del temporizador Ultrasonic Timer.



d) Automáticamente el equipo proporciona los datos en microsegundos y deben registrar los datos de 3 repeticiones por cada ubicación de los sensores (lado radial y tangencial).

Figura 10.

Registro de los datos utilizando el temporizador.



3.3.2. Ensayo de evaluación del módulo de elasticidad (MOE) por el método Destructivo.

Los ensayos se realizaron según lo estipulado en la (NTP 251.017, 2004) en el laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina ubicado en la Av. La Molina SN, en el distrito La Molina, provincia de Lima, departamento de Lima; utilizando la Prensa Universal Tinius Olsen. Para ello la metodología que se aplico fue la estipulada en la NTP en flexión estática.

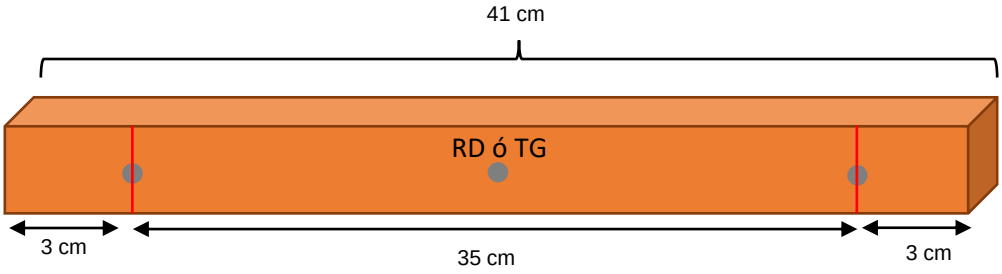
Figura 11.
Frontis de la UNALM.



a) Se procedió al reconocimiento y marcación de las caras radiales y tangenciales de la probeta como se observa en la figura 12.

b) Se acondicionaron las probetas para la realización de los ensayos, el cual consistió en colocar 3 clavos, a una luz de 35 cm y un clavo central

Figura 12.
Marcado de las probetas del lado radial o tangencial y colocado de los tres clavos dejando 35 cm de luz.



c) Se instaló el accesorio en la probeta para el ensayo de flexión estática, y del reloj de deformación.

d) Se procedió a la colocación de la probeta en la prensa mecánica.

e) Se inició el ensayo a una frecuencia y escala determinada.

f) Se tomó lectura de los datos de carga y deformación.

Figura 13.
Probeta sometida al ensayo de flexión por el método destructivo.



Cálculo del módulo de elasticidad **(MOE)** (NTP 251.017, 2004).

$$MOE = \frac{(P' x\ L^3)}{(4\ x\ a\ x\ e^3 x\ y)} = \text{Kgf/cm}^2$$

P´ = Carga al límite proporcional en kg.

L = Distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a = Ancho de la probeta (cm).

e = Espesor de la probeta (cm).

y = Deflexión en el centro de la luz al límite proporcional en cm.

3.3.3. Ensayo de evaluación de tipo indirecta de la densidad básica ETID.

a) Se reconocieron las caras radiales y tangenciales de cada probeta, donde se realizó la evaluación

b) Se cargó la varilla metálica con una cachimba, empujando la varilla metálica hasta que quede retenida por la reacción de un tope en el interior del aparato.

c) Se presionó con firmeza, de forma perpendicular con la superficie descortezada.

d) Se disparó la varilla metálica sobre la madera la cual fue impulsada por la fuerza elástica de un resorte, presionando el extremo posterior del pilodyn.

3.3.4. Ensayo de evaluación de la densidad básica por el tipo directo.

Una vez realizados los ensayos con los equipos de Ultrasonic timer, prensa universal Tinius Olsen, el Pilodyn se realizó lo siguiente:

a) Se elaboraron las probetas de densidad con la NTP 251.010 2.5 x 2.5 Método tipo directo (se corta la parte evaluada por el Pilodyn).

b) Las probetas saturadas de agua fueron pesadas y medidas todos los días, durante 4 días consecutivos, luego cada 2 días y finalmente cada 4 días hasta que los pesos y dimensiones se tornen constante, luego las probetas serán introducidas a una estufa a ±103 °C también hasta alcanzar un peso constante, en concordancia con la Norma Técnica Peruana 251.010.

c) Para evaluar la densidad se expresa la siguiente expresión

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

$\rho = densidad.$

$m = masa.$

$v = volumen.$

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas.

Se utilizó la observación directa, para recabar información en cada ensayo.

3.4.2. Instrumentos.

Los instrumentos que fueron utilizados, fue el vernier digital, la Prensa Universal Tinius Olsen y el Pilodyn; para que los datos sean anotados en el formato de toma de datos.

Tabla 1. Formato de toma de datos.

N	Codificación			Espesor (mm)				Ancho (mm)				Long (cm)	Peso (g)	Radial (µs)			Tangencial (µs)		
	Arbol	Troza	Orient	x1	x2	x3	prom	x1	x2	x3	prom			x1	x2	x3	x1	x2	x3

3.5. Procesamiento de recolección de datos.

Luego de la toma de datos, se digitalizo todos los datos en una hoja de cálculo Excel; en donde se realizó su procesamiento.

3.6. Tratamiento de datos.

Utilizando el Software MiniTab 19; se aplicó la prueba de dos medias de muestras asociado por par, ya que las probetas se utilizaron para los dos ensayos de densidades y MOE provienen del mismo individuo.

Se determinaron los estadísticos básicos para cada equipo y para cada propiedad de la madera de Shihuahuaco. Además, se realizó el análisis de correlación y regresión entre los métodos destructivos y no destructivos.

Estadísticos básicos

Tendencia central

TC= $\bar{x}$ promedio

Parámetros de dispersión

PD = S Desviación estándar

CV Coeficiente de variación

Este caso se presenta cuando los tratamientos son aplicados a una misma población o una misma muestra, por ejemplo, cuando se compara dos métodos de medidas, sometiendo a estos dos métodos de medidas a los mismos individuos elegidos de una misma población o la mitad de la

población es sometida a un método de medida y la otra parte de la población al otro método (Salvador, 2010).

Condición de aplicación

- Aleatoriedad en el muestreo.
- Distribución normal de la población de la diferencia.

Hipótesis nula

Ho: m1 = m2

Ho: δ = 0

Prueba de igualdad de 2 medias

$$T_{obs} = \frac{|\overline{d}|}{\sqrt{\frac{SCd}{n_1(n_1-1)}}} = \frac{|\overline{X}_1 - \overline{X}_2|}{\sqrt{\frac{SCd}{n(n-1)}}}$$

Se rechaza la Ho si $T_{obs} \geq T_{1-\alpha/2}$, con n – 1 gl

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación y comparación del módulo de elasticidad de la madera *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke (Shihuahuaco).

4.1.1. Método no destructivo.

Tabla 2. Datos del MOE con el método no destructivo (equipo Ultrasonic Timer).

N°	Árbol	Troza	Cantidad de Probetas	MOE (Kgf/cm^2)
1	1	1	44	104313.78
2		2	30	96474.39
3		3	44	100396.68
4		4	27	86630.44
5		5	14	82768.62
6		6	6	93020.90
7		7	8	82365.48
8	2	1	21	122450.08
9		2	16	109342.83
10		3	11	115960.43
11		4	22	105131.75
12		5	15	108285.67
13		6	16	100344.68
14		7	12	107054.62
15	3	6	2	85097.88
Suma			288	1499638.22
Promedio				99975.88
Sd (Desviación Estándar)				12187.56
Coeficiente de Variación (%)				12.19
Promedio Ponderado				101424.91

En la Tabla 2 se aprecia los valores del módulo de elasticidad (MOE) por probeta, obtenido por el método no destructivo de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco) utilizando el equipo Ultrasonic Timer. El valor promedio del MOE fue de 99975.88 kgf/cm², con una desviación estándar de 12187.56 kgf/cm² y un coeficiente de variación de 12.19%.

4.1.2. Método destructivo.

Tabla 3. Datos del MOE con el método destructivo (prensa universal).

N°	Árbol	Troza	Cantidad de Probetas	MOE (Kg/cm^2)
1	1	1	19	116959.78
2		2	18	117276.51
3		3	30	116750.09
4		4	19	117028.79
5		5	9	116240.81
6		6	4	117445.83
7		7	5	116915.25
8	2	1	13	119304.99
9		2	12	118977.45
10		3	7	119603.77
11		4	17	117654.05
12		5	11	119067.68
13		6	10	117432.61
14		7	8	117615.11
15	3	6	2	112891.41
Suma			184	1761164.13
Promedio				117410.94
Sd (Desviación estándar)				1615.61
Coeficiente de variación (%)				1.38
Suma producto				21626603.23
Promedio ponderado				117535.89

En la tabla 3 se aprecia el promedio ponderado del módulo de elasticidad (MOE) obtenido con el método destructivo de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco) 117535.89 Kgf/cm^2; con una desviación estándar de 1615.61 Kgf/cm^2 y un coeficiente de variación (C.V.) de 1.38%.

En la tabla 2 y 3 se aprecia el coeficiente de variación (C.V.) del módulo de elasticidad de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco), cuyo valor por el método no destructivo resultó mayor (12.19%) que con el método destructivo (1.38%), lo que indica que los resultados del MOE por el método destructivo resultaron ser más homogéneos.

La tabla 4 muestra los datos de la diferencia del MOE obtenido por el método no destructivo y destructivo, de donde se deduce que el método no destructivo (equipo Ultrasonic Timer) subestima ligeramente en su mayoría el valor del módulo de elasticidad con relación al obtenido por el método destructivo (prensa universal).

Tabla 4. Datos de la diferencia del MOE de dos métodos de ensayo.

N°	Árbol	Troza	MOE (Kg/m2)		Diferencia
			Método Destructivo	Método No Destructivo	
1	1	1	116959.78	104313.78	12645.99
2		2	117276.51	96474.39	20802.12
3		3	116750.09	100396.68	16353.40
4		4	117028.79	86630.44	30398.36
5		5	116240.81	82768.62	33472.19
6		6	117445.83	93020.90	24424.94
7		7	116915.25	82365.48	34549.77
8	2	1	119304.99	122450.08	-3145.08
9		2	118977.45	109342.83	9634.61
10		3	119603.77	115960.43	3643.34
11		4	117654.05	105131.75	12522.30
12		5	119067.68	108285.67	10782.02
13		6	117432.61	100344.68	17087.93
14		7	117615.11	107054.62	10560.49
15	3	6	112891.41	85097.88	27793.53
	suma		1761164.13	1499638.22	261525.90
	X		117410.94	99975.88	17435.06
			Sd (Desviación estándar)		11019.88
			∑Xi²		6259847517.75
			Si²		1700127591.33
			Tobs		6.128

Para determinar si existe diferencias significativas entre los MOE obtenidos por los métodos no destructivo y el destructivo, se realizó la prueba de significación de dos medias asociadas por par o pareados, porque las probetas provienen de los mismos individuos; donde se planteó la hipótesis nula, Ho: $m_1 = m_2$.

$$T_{1-\propto/_2} = T_{0.995} => 2.977 \quad \text{con} \propto = 0.01 \quad 14gl$$

$$T_{obs} > T_{1-\propto/_2} => T_{obs}\ 6.128 > T_{tab}\ 2.977 = RHo\ **$$

Donde una vez encontrado el T_{obs} se procedió a comparar con el T_{tab} a un nivel de confianza de 0.975 y 0.995. Cuyo resumen se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Resumen de la prueba de significación de dos medias asociadas por par o pareados.

Promedio del MOE por método (Kgf/cm²)		Diferencia	Valor de T		Hipótesis	Nivel de Significancia
Destructivo	No Destructivo		T_{obs}	$T_{1-\alpha/2}$		
117410.94	99975.88	17435.06	6.128	2.977	RHo	**

N.S. = Significativamente diferente.

De la Tabla 5 se deduce que la media del MOE encontrado con el Método No Destructivo (MND) es 99975.8 kgf/cm² y con el Método destructivo (MD) es 117410.94 kgf/cm², y aplicando la prueba de dos medias asociadas por par resulto con mayor el MOE el MD, lo que hace que exista diferencias altamente significativas entre los valores de los dos métodos de determinación del MOE de la madera ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco). Sobre ese caso (Cuellar, 2018) encontró mayor valor del MOE con el Microsecond Temer fue 107488,37 y el menor fue el obtenido de manera convencional con la prensa mecánica 82417,6; en función a los resultados de la comparación de dos medias no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos por el Microsecond y Ultrasonic Timer; lo cual difiere con los resultados encontrados, ya que la prueba estadística aplicada da como resultado que existe diferencia significativa en el MOE comparados entre los dos equipos utilizados.

4.1.3. Relación entre los MOE por el MND y MD.

Para ajustar los valores del módulo de elasticidad obtenida por el método no destructivo (MND) y los valores del módulo de elasticidad obtenida por el método destructivo (MD), por ser este último el más preciso y más confiable, se realizó el análisis de regresión correlacional, cuyo resumen se detalla en la Tabla 6 y Figura 14.

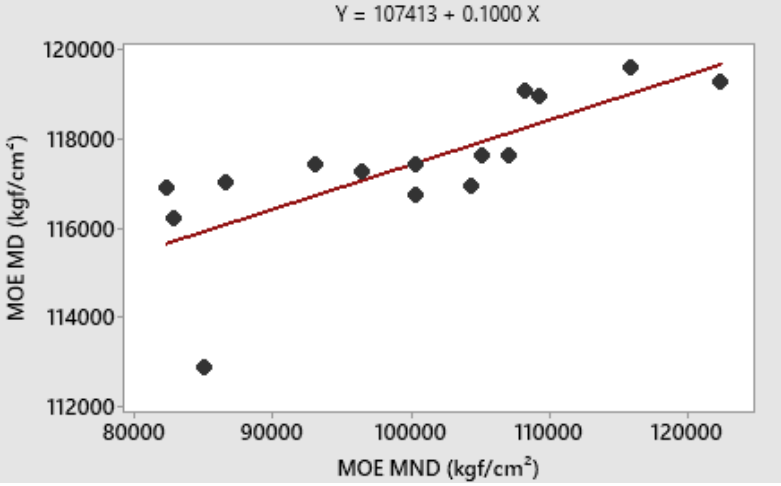
Tabla 6. Análisis de regresión correlacional entre dos tipos de MOE.

Variables	$r_{calcul.}$	Ecuacion	Signif.
MOE de MND Vs MD	0.75	Y= 107413 + 0.1X	**

**= La relación entre el método destructivo y el método no destructivo es estadísticamente significativa.

Figura 14.

Relación entre MOE del método no destructivo (MND) y el método destructivo (MD).



De la figura 14, se entiende que la correlación positiva (r=0.75) indica que cuando MOE del método no destructivo (MND) aumenta, el método destructivo (MD) también tiende a aumentar; es decir la relación es directamente proporcional.

Por lo tanto, la expresión de ajuste del módulo de elasticidad resultó

MOE(d) = 107413 + 0.1MOE (nd)

Donde:

MOE(d) = Modulo de elasticidad por método destructivo, kg/cm².

MOE (nd) = Modulo de elasticidad por método no destructivo, kg/cm².

En tal sentido Sotomayor, (2014) sostiene que el MOE determinado por método no destructivo puede ser de utilidad para la predicción de módulo de ruptura y de la resistencia al límite elástico. Estando de acuerdo con lo que sostiene el autor; en donde se observa que la relación entre método destructivo y el método no destructivo es estadísticamente significativa.

4.2. Evaluación y comparación la densidad básica de la madera *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke (Shihuahuaco).

4.2.1. Densidad por el método directo.

Tabla 7. Datos de densidad básica de las probetas utilizadas en el experimento por el método directo.

N°	Árbol	Troza	Cantidad	Densidad Básica (g/cm^3)
1		1	19	0.75
2		2	18	0.70
3		3	30	0.68
4	1	4	19	0.68
5		5	9	0.66
6		6	4	0.66
7		7	5	0.67
8		1	13	0.75
9		2	12	0.68
10		3	7	0.70
11	2	4	17	0.70
12		5	11	0.70
13		6	10	0.68
14		7	8	0.66
15	3	6	2	0.60
Suma			184	10.28
Promedio				0.69
Sd (Desviación estándar)				0.04
Coeficiente de variación (%)				5.34
Promedio ponderado				0.69

En la Tabla 7 se aprecia los valores de la densidad de las probetas de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, obtenido por el método gravimétrico; el valor del promedio ponderado de la densidad básica fue 0.69 g/cm^3, con un coeficiente de variación de 5.34%.

4.2.2. Densidad por el método indirecto.

Tabla 8. Datos de densidad básica de las probetas utilizadas en el experimento por el método indirecto.

N°	Árbol	Troza	Cantidad	Densidad Básica (g/cm^3)
1	1	1	44	1.15
2		2	30	1.10
3		3	44	1.10
4		4	27	1.09
5		5	11	1.09
6		6	6	1.06
7		7	8	1.07
8	2	1	21	1.13
9		2	16	1.11
10		3	11	1.12
11		4	22	1.11
12		5	15	1.10
13		6	16	1.11
14		7	12	1.09
15	3	6	2	0.96
Suma			285	16.38
Promedio				1.09
Sd (Desviación estándar)				0.04
Coeficiente de variación (%)				3.94
Promedio ponderado				1.11

En la tabla 8 se aprecia los valores de la densidad de las probetas de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke; el valor promedio de la densidad básica por el método indirecto fue 1.09 g/cm^3 con un coeficiente de variación de 3.94%.

4.2.3. Prueba de dos muestras asociadas por par o pareados de la densidad.

Tabla 9. Datos de densidad básica de dos métodos de ensayo.

N°	Árbol	Troza	Densidad básica (g/cm^3)		Diferencia
			Método indirecto	Método directo	
1	1	1	1.15	0.75	0.41
2		2	1.10	0.70	0.39
3		3	1.10	0.68	0.42
4		4	1.09	0.68	0.41
5		5	1.09	0.66	0.43
6		6	1.06	0.66	0.39
7		7	1.07	0.67	0.40
8	2	1	1.13	0.75	0.38
9		2	1.11	0.68	0.43
10		3	1.12	0.70	0.42
11		4	1.11	0.70	0.40
12		5	1.10	0.70	0.39
13		6	1.11	0.68	0.43
14		7	1.09	0.66	0.43
15	3	6	0.96	0.60	0.36
	Suma		16.38	10.28	6.10
	Promedio		1.09	0.69	0.41
			Sd (Desviación estándar)		0.02
			∑Xi²		2.49
			Si²		0.01
			Tobs		75.36

La tabla 9 muestra que la densidad de la madera de ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke, (Shihuahuaco) por cada probeta y el promedio ponderado obtenida por el método directo cuyo valor fue de 0.69 g/cm^3 y por el indirecto de 1.09 g/cm^3. Esta situación ha permitido deducir que el método indirecto sobreestima los valores de la densidad.

En la tabla 10 se aprecia la aplicación la prueba de significación de dos medias de muestras asociadas por par o pareados, porque las probetas provienen de los mismos individuos; para ello se planteó la hipótesis nula, Ho: $m_1 = m_2$.

$$T_{1-\propto/2} = T_{0.995} => 2.977 \quad \text{con} \propto = 0.01 \quad 14gl \qquad T_{obs} > T_{1-\propto/2} => T_{75.36} > T_{2.977} = RHo **$$

Donde una vez encontrado el T_{obs} se procedió a comparar con el T_{tab} a un nivel de confianza de 0.975 y 0.995. Cuyo resumen se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 10. Resumen de la prueba de significación de dos medias asociadas por par o pareados.

Promedio de la densidad básica (gr/cm^3)		**Diferencia**	**Valor de T**		**Hipótesis**	**Nivel de Significancia**
Método Indirecto	**Método directo**		**T_{obs}**	**$T_{1-\alpha/2}$**		
1.09	0.69	0.41	75.36	2.977	RHo	**

N.S. = Significativamente diferente.

De la tabla 10 se deduce que la media de la densidad de la madera obtenido por el método indirecto es significativamente diferente y superior a la densidad obtenida por el método directo, siendo el valor de T_{Tab} menor que al T_{Obs}, en consecuencia, se rechazó la Hipótesis nula a un nivel de confianza de 0.975 y 0.995.

Sobre la densidad básica; según Arbildo, (2015) menciona que la la especie ***Dipteryx ferrea*** (Ducke) Ducke (shihuahuaco) de una plantación de tres años de edad, la densidad básica fue 0.69 gr/cm^3; coincidiendo con lo encontrado en la presente investigación.

4.2.4. Relación entre la densidad básica por el método directo e indirecto.

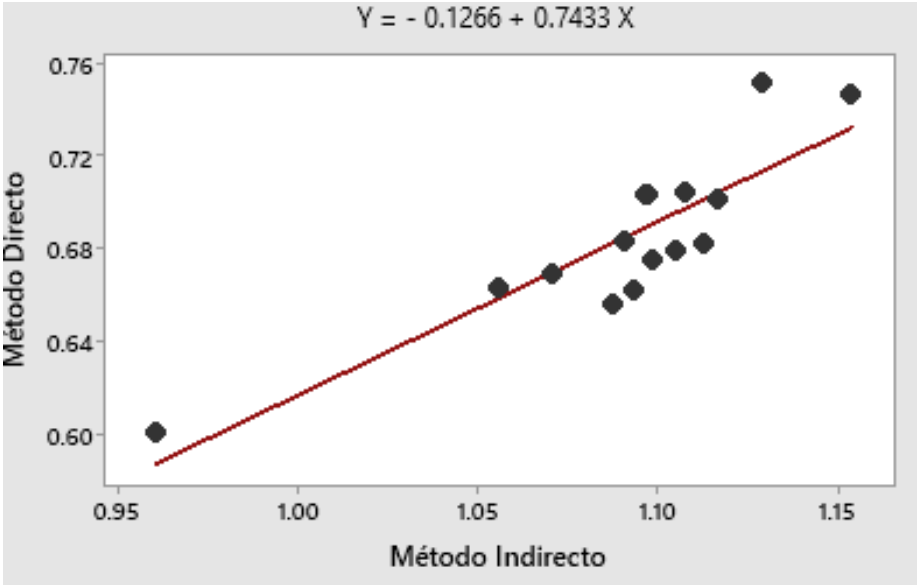
Para ajustar los valores de la densidad básica obtenida por el método directo y los valores de la densidad básica obtenida por el método indirecto, por ser el método directo el más preciso y más confiable, se realizó el análisis de regresión correlacional, cuyo resumen se detalla en la tabla 11 y figura 15.

Tabla 11. Análisis de regresión correlacional entre dos tipos de MOE.

Variables	$r_{calcul.}$	Ecuacion	Signif.
Densidad básica del Método Directo Vs Método Indirecto	0.87	Y= -0.1266 + 0.7433x	**

**= La relación entre el método indirecto y el método directo es estadísticamente significativa.

Figura 15.
Relación entre la densidad básica del método directo y el método indirecto.



De la figura 15, se entiende que la correlación positiva (r=0.87) indica que cuando el método indirecto aumenta, el método directo también tienda a aumentar.

Por lo tanto, la expresión de ajuste de la densidad básica obtenida por el método indirecto resulto:

$$DB\ (MI) = -0.1266 + 0.7433(MD)$$

Donde:

DB (MI) = Densidad básica por método indirecto, g/cm^3.

DB(MD) = Densidad básica por método directo, g/cm^3.

CAPITULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

1. El valor del MOE por el método no destructivo fue de 99975.88 Kgf/cm² inferior al método destructivo que fue de 117410.94 Kgf/cm².
2. La ecuación para el ajuste del MOE encontrado por el método no destructivo al MOE del método destructivo fue de: MOE(d) = 107413 + 0.1MOE (nd).
3. La evaluación y comparación de la densidad básica determinado por el método indirecto fue de 1.09 g/cm^3, resultando superior al obtenido por el método directo que fue de 0.69 g/cm^3.
4. La ecuación de ajuste de la densidad básica encontrado por el método indirecto a la densidad por el método directo o gravimétrico, fue de: DB (MI) = -0.1266 + 0.7433(MD).

5.2. Recomendaciones.

1. En base al MOE encontrado se recomienda la madera ***Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke**, (Shihuahuaco) para diferentes usos; construcción de casas (vigas) y carpintería (ventanas, techos, pisos, paredes y puertas de madera).
2. Realizar estudios de comparación de la misma especie de diferentes años para tener resultados con menor grado de error.
3. Tener cuidado en el uso del Pilodyn en maderas de alta densidad, ya que, bajo ciertas condiciones de humedad, este equipo podría darnos valores menos precisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldana, D., & et al. (2016). *ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS ESPECIES DE DIPTERYX EN LA AMAZONÍA PERUANA*. (I. d. Peruana, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP): http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foliaamazonica/article/view/394/455

Arbildo, L. (2015). *Determinación de los valores de algunas propiedades físicas y su variación por niveles de fuste de la madera de Dipteryx ferrea (Ducke) Ducke (Shihuahuaco) de una plantación de tres años de edad del distrito de Campoverde, región Ucayali*. Obtenido de Universidad Nacional de Ucayali: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1567

Arcos, B. (2009). *UNIVERSIDAD DE CHILEFACULTAD DE CIENCIAS FORESTALESESCUELA DE CIENCIAS FORESTALESDEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERAVALIDACIÓN DE LA TEORÍA DE VIGAS LAMINADAS COMO ESTIMADOR DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN DE VIGAS COMPUESTAS A BASE DE MADERA*. (C. UNIVERSIDAD DE CHILE - Santiago, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Memoria para optar al TítuloProfesional de Ingeniero de la Madera: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150966/Validacion-de-la-teoria-de-vigas-laminadas-como-estimador-del-modulo-de-elasticidad-en-flexion-de-vigas-compuestas-a-base-de-madera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf

Arostegui, A. (1982). *Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PE1982101610

Arroyo, J. (1983). *ropiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Universidad de los Andes. .* Mérida-Venezuela: Universidad de los Andes.

Bustamante, E. (2018). *Validación de un método no destructivo para medir módulo de elasticidad en trozas de Calycophyllum spruceanum de una plantación en Uacayali - Perú*. Recuperado el 4 de Abril de 2021, de Universidad Nacional Agraría La Molina: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3875

Cárdenas, A. (2012). *Determinación de las propiedades físicas en diferentes niveles del fuste de bolaina blanca (Guazuma crinita C. Martius) en Tingo María*. (U. A. Selva, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/540

Cuellar, J. E. (2018). *EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL TORNILLO DUCKE PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN UCAYALI MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Agraria La Molina: https://www.researchgate.net/publication/327212503_Evaluacion_del_Modulo_de_Elasticidad_del_tornillo_Cedrelinga_cateniformis_Ducke_proveniente_de_una_plantacion_en_Ucayali_mediante_tecnicas_no_destructivas

Davila, V. (2020). *Propiedades fisicas básicas de la madera de Pterygota amazónica LO Williams ex Dorr (paujil ruro) y su variabilidad en los tres niveles longitudinales del Fuste,*

proveniente de la Sub Cuenca Shahuanya – distrito de Masisea – provincia de Coronel Portillo. (U. N. Ucayali, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional de Ucayali: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4214

De Luján, J. (2017). *Penetrómetro PILODYN*. Recuperado el 04 de Abril de 2021, de Comercial de Ingenieria Daga S.L.: https://www.dagasl.es/PILODYN.pdf

Díaz, M. (2008). *Variación de las propiedades físicas de Calycophyllum Spruceanum (Benthan) Hooker f. Ex Chuman (Capirona) de una plantación de ocho años en la zona de Tingo María, Perú.* (U. A. Selva, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional Agraria de la Selva: http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/676

Donoso, G. (2016). *Producción de vigas de madera laminada encolada de alta capacidad resistente mediante la utilización de madera aserrada de pino radiata clasificada mecánicamente*. (U. D. CHILE, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Santiago de Chile: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139888

Escobar, O. (2018). *Conceptos Básicos Sobre La Resistencias De Las Maderas*. Recuperado el 4 de Abril de 2021, de SENA REGIONAL ANTIOQUIA - CHOCO - COLOMBIA: http://elsemillero.net/pdf/madera_tres.pdf

Gomez, E. (2019). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tableros contrachapados de Ceiba Pentandra l. gaertn (Lupuna blanca), de tres empresas triplayeras de Pucallpa*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional de Ucayali: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4148

Halabe, U. (1995). *Materials Evaluation. Nondestructive Evaluation of Green Word Using Stress Wave and Transverse Vibration Techniques* (Vol. 55, No 9, 1013-1018. ed.). Recuperado el 12 de Enero de 2021

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

Igartúa, D. (2013). *Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon implantada en Argentina*. (U. N. Plata, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional de la Plata - Argentina: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/33417

IIAP. (2018). *Fichas de identificación de las especies de Dipteryx de la Amazonía peruana.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de http://repositorio.iiap.org.pe/bitstream/IIAP/370/3/Honorio_reporte_2018.pdf

Jesús, J. (2003). *Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el Eucalyptus grandis de Argentina* (Tesis ed.). La Plata - Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Jost, F. (2006). *Propiedades físicas y mecánicas de la Araucaria angustifolia proveniente de plantaciones de Oxapampa*. (U. N. Molina, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/407

Lluncor, D. (2015). *Determinación de las propiedades mecánicas del Culmo de bambusa vulgaris var. Vittata (bambú), en tres Niveles de altura y dos estados de madurez, en el Campus*

de la unia. (U. N. Amazonía, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía: http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/116

Matínez, R. (2016). *Métodos no destructivos de estimación de la densidad de la madera* (Primera ed.). Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

Meléndez, M. (2011). *Propiedades Mecánicas de las maderas de Diplotropis sp., Otoba parvifolia, Peltogyne sp., Virola albidiflora y Vochysia sp. Proveniente de las cuencas de los ríos Nanay y Napo* (Tesis ed.). Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado el 12 de Enero de 2021

Novitol, E. (1992). *Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado variabilidad en Pinus pinaster Ait.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/235974797_Una_metodologia_para_la_estimacion_de_la_densidad_de_la_madera_de_arboles_en_pie_y_de_su_grado_variabilidad_en_Pinus_pinaster_Ait

NTP 251.017. (2004). *Norma Técnica Peruana; Madera. Método para determinar la flexión estática.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://kupdf.net/download/ntp-2004-madera-metodo-para-determinar-la-flexion-estatica_59daba9308bbc54e49434b1a_pdf

Panebra, P. (2018). *Evaluación no destructiva de la densidad en madera de plantaciones de dos especies forestales*. Recuperado el 4 de Abril de 2021, de Universidad Nacional Agraria La Molina: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3877

Pantigoso, J. (2009). *Propiedades físicas y mecánicas de la capirona (Calycophyllum spruceanum (Benth.) hook ex Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Ucayali - Perú*. (U. N. Molina, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Agraria La Molina: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/432

Pecho, R. (2016). *Evaluación de las propiedades físicas de Zanthoxylum riedelianum Engl (Hualaja) a tres niveles, tres secciones transversales y dos orientaciones del fuste, provenientes de la zona de Tournavista – Huánuco*. (U. N. Amazonía, Editor) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía: http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/120

Pelizan, T. (2004). *Estudo de Propiedades Mecánicas de Peças Roliças de Eucalipto Citriodora utilizando a Técnica de Ultra-Som* (Sao Paolo, Brasil ed.). Sao Paolo, Brasil: Sao Paolo, Brasil.

PROMPEX. (2011). *Proyecto "Promoción de Nuevas Especies Forestales del Perú en el Comercio Exterior"*. (W. W. Inc., Editor) Obtenido de Maderas del Perú.

Ross, R. (1999). *Using sound to evaluate standing timber.* (I. F. Review, Ed.) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.2886&rep=rep1&type=pdf

Ramos, V. (2016). Comportamiento a la trabajabilidad de la madera de jacaranda copaia (Aubl) D. Don (Huamansamana) y su variación en los diferentes niveles longitudinales del fuste

del árbol procedente de las provincias de Coronel portillo y Padre Abad de Ucayali. Pucallpa-Perú: Universidad Nacional de Ucayali.

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

Sotomayor, J. R. (2014). *Caracterización mecánica de la madera con métodos no destructivos*. Recuperado el 11 de Enero de 2021, de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.: www.laboratoriodemecanicadelamadera.weebly.com

Spavento, E., & keil, G. (2008). *Propiedades Mecánicas de la Madera.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Nacional de la Plata: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1725/mod_resource/content/0/APUNTES_PROPIEDADES_MECANICAS_2008.pdf

Sucksmith, K. (2009). *valuación del Módulo de Elasticidad por métodos no destructivos en la madera de Cedrelinga cateniformis Ducke proveniente de una plantacion del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt* (Tesis para obtar el título de Ing. Forestal ed.). Alexander Von Humboldt: Universidad Agraria La Molina.Lima,PE, 83.

Sueros, C. (2017). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Guazuma crinita (Bolaina blana) de tres edades*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2776

Venes, D. (2008). *Diccionario enciclopédico Taber de ciencias de la salud* (Ed. DAE, 1753 pp ed.). Madrid: España.

Vignote, S., Martínez, I., & Villasante, A. (2013). *Silvicultura y calidad de la madera.* Madrid - España: ES. , 56p. .

Vilcayauri, E. (2009). *Propiedades físicas y mecánicas de Simaroula amara Aubl. (Marupá) proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de Universidad Agraria La Molina: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/435

Wang, X. (2001). *Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method.* Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/5973

Wang, X., Ross, R., & Carter, P. (2005). *Acoustic evaluation of standing trees : recent research development.* (E. G. University of Applied Sceinces, Ed.) Recuperado el 12 de Enero de 2021, de https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/24771