

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La utilización de la madera en el sector de la construcción es una tendencia creciente, gracias a sus ventajas técnicas, estéticas y económicas. En la actualidad, la concienciación social y la legislación vigente han impulsado la conservación y rehabilitación de edificios antiguos con estructura de madera, convirtiendo esta área en un campo especializado y tecnificado.

La madera es un material que puede degradarse debido a la acción de agentes bióticos y abióticos, por ello es necesario conocer su capacidad de resistencia en cada momento. Con este fin se han ido realizando distintos ensayos a lo largo de los años.

Legalmente, la madera aserrada estructural se comercializa en lotes previamente clasificados por resistencia, habiéndose redactado diferentes normativas nacionales y europeas que pretenden recoger las bases para el diseño y cálculo de las estructuras en construcciones en madera. De esta forma se consigue que la madera se encuentre con unas características homogéneas que puedan ofrecer una garantía a la hora de trabajar y comercializar con ella. La utilización de valores medios de la bibliografía técnica para determinar las propiedades de la madera tiene limitaciones significativas (Talbert, 1989).

Dos factores clave limitan la precisión de este enfoque:

- **Desconocimiento de la especie:** En muchos casos, la especie de madera es desconocida, lo que hace imposible aplicar valores medios específicos.
- **Variabilidad dentro de la especie:** Incluso cuando se conoce la especie, la madera puede presentar una gran variabilidad en su comportamiento dentro de la misma especie, lo que reduce la precisión de los valores medios.

Por lo tanto, es fundamental emplear métodos de evaluación más precisos y personalizados para determinar las propiedades de la madera.

La densidad de la madera es una de las propiedades físicas que mejor se relaciona con las características resistentes del material. Esto hace que su determinación sea de gran ayuda para poder establecer correctamente los valores característicos del material. Pero dicha propiedad varía de forma importante entre las zonas altas y bajas del tronco del árbol, entre

la zonas interiores y exteriores del árbol, por la cantidad de agua que contenga (es decir, por su humedad), por el grado de ataque que pueda haber sufrido (Talbert, 1989)

La densidad básica o relativa de la madera tiene un efecto importante sobre el rendimiento y calidad del producto final y se considera como la propiedad de la madera más importante para casi todos los productos maderables derivados de las especies forestales. Además, para calcular la productividad total en biomasa de un rodal primero se debe conocer la densidad promedio de la madera (Talbert, 1989). Por todo lo anterior, resulta de gran importancia desarrollar métodos rápidos, simples y precisos para la estimación de la densidad de la madera en especies forestales.

En Bolivia, la creciente demanda de madera, obliga a buscar cada vez nuevas especies que puedan ingresar al mercado y para ello es necesario la realización de pruebas para evaluar de manera individual las propiedades físicas de la madera, proporcionando así una idea muy aproximada de cuál puede ser su comportamiento bajo las diferentes condiciones de uso y servicio. Por lo tanto, conocer los valores de las propiedades físicas y su variación proporcionara datos de gran valor, que, a su vez permitirán encontrar los usos más adecuados a las especies que aún se desconocen sus características físicas.

El caso particular de utilización de madera de la Mora (*Maclura tinctoria L.*), en la región del Chaco Tarijeño, está siendo destinada a la construcción, también es usada en la elaboración de muebles rústicos. Por esta razón, para reforzar y corroborar la calidad de esta madera, es necesario en primer lugar determinar las propiedades físicas más importantes.

De acuerdo a la literatura, esta madera tiene propiedades de fácil conformación, baja densidad, hermosa apariencia y buenas propiedades físicas, mecánicas, térmicas y acústicas. Estas propiedades le confieren a la madera, entre otras cosas, una amplia gama de aplicaciones, especialmente como material de construcción.

La madera de la Mora (*Maclura tinctoria L.*), juega un papel importante en la vida de los campesinos, sin embargo, para mejorar la utilización de los productos maderables, es necesario conocer las propiedades físicas de dicha especie. Las características tecnológicas de esta madera son determinantes para darle un adecuado uso y manejo para mejorar su utilidad tecnológica y económica, así poder sacar productos de alta calidad para su comercialización

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los usos actuales de muchas especies secundarias no son las más adecuadas, por esto es que se plantea la necesidad de investigar estudios tecnológicos de esta especie para contribuir y determinar su aplicación acorde con sus propiedades físicas.

La información generada en esta investigación permitirá recomendar el uso adecuado en que se pueda emplear la madera de la especie Mora (*Maclura tinctoria L.*) para reducir la presión en el bosque nativo.

Por esta razón, el presente trabajo de investigación sobre propiedades físicas pretende conocer el comportamiento físico de la madera Mora (*Maclura tinctoria L.*) contribuyendo al conocimiento y así validar y difundir las posibilidades de diversificación de los usos que se pueda aplicar a la madera.

1.3. HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos de la investigación de la madera Mora (*Maclura tinctoria L.*) en sus propiedades físicas indican que es adecuada para emplear en distintos rubros como la construcción de muebles y pisos de madera hasta la fabricación de herramientas y estructuras exteriores. Su dureza y durabilidad la hacen especialmente adecuada para usos que requieren resistencia y longevidad.

1.4. PLANTEAMIENTO EL PROBLEMA

Uno de los problemas que enfrenta el sector forestal en la actualidad es la tala selectiva de las especies forestales valiosas de los bosques nativos del municipio de Villa Montes del departamento de Tarija, la demanda y el inadecuado aprovechamiento de estas especies maderables están obligando a buscar nuevas alternativas que vayan a sustituir a las especies más aprovechadas y con un peligro de extinción. Existen otras especies maderables en los bosques nativos del municipio de Villa Montes del departamento de Tarija que puedan sustituir las especies explotadas.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Determinar las propiedades físicas a distintas alturas del fuste de la especie Mora (*Maclura tinctoria L.*) proveniente del municipio de Villa Montes, provincia Gran

Chaco departamento de Tarija, empleando la Norma COPANT MADERAS, con la finalidad de conocer sus características y recomendar los posibles usos de la madera.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el peso específico aparente en contenidos de humedad verde, seca al aire, anhidro y ajustada al 12% empleando técnicas propuestas por las normas COPANT MADERAS 461, a distintas alturas de fuste.
- Determinar las contracciones normales y totales (tangencial, radial, y volumétrica) de la madera a distintas alturas de fuste.
- Determinar el coeficiente de estabilidad y la porosidad para relacionar con la variabilidad de sus propiedades físicas a distintas alturas de fuste.

CAPÍTULO II
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. MADERA.

La madera (del lat. materia), **xilema** (del griego lignificarse) o **leño** (del lat. *Lignum*) es la parte sólida de los árboles por debajo de la corteza. Es el conjunto de elementos lignificados, lo mismo traqueas o traqueidas. En sentido estricto, en cuanto al período de su formación, todo tejido secundario producido por el cambium hacia el interior del mismo. (Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de Ciencias Forestales., 2000)

Es un material heterogéneo y anisotrópico, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. El estudio de su anatomía tiene gran influencia en la Tecnología y en la Industria.

La madera tiene principalmente las siguientes características:

Es un material poroso, celular, no es un sólido.

Está compuesto por más de un tipo de células, por lo tanto, su constitución es heterogénea.

La mayor proporción de elementos celulares es alargada con su eje longitudinal paralelo al eje del fuste.

Las paredes celulares están constituidas fundamentalmente de celulosa, que forma largas cadenas moleculares.

Contiene también lignina y hemicelulosas; éstas se ubican entre las cadenas de celulosa, donde además puede haber agua.

El lumen de las células y la pared celular pueden contener diferentes materiales.

Dadas las características estructurales las posibles fuentes de variación en el leño son:

Tipos de células presentes y sus proporciones.

Tamaño de los diferentes tipos de células.

Espesor de la pared celular.

Dirección del eje de la célula en referencia al tronco.

Proporción de un tipo de células con respecto a otro.

Composición de la pared celular.

Naturaleza, presencia y distribución de materiales extraños.

(Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de Ciencias Forestales., 2000)

Es un material heterogéneo y anisotrópico, con propiedades muy diferentes de acuerdo a la dirección considerada. El estudio de su anatomía tiene gran influencia en la tecnología y en la industria.

La madera tiene principalmente las siguientes características:

Es un material poroso, celular, no es un sólido.

Está compuesto por más de un tipo de células, por lo tanto, su constitución es heterogénea.

La mayor proporción de elementos celulares es alargada con su eje longitudinal paralelo al eje del fuste.

Las paredes celulares están constituidas fundamentalmente de celulosa, que forma largas cadenas moleculares.

Contiene también lignina y hemicelulosas; éstas se ubican entre las cadenas de celulosa, donde además puede haber agua.

El lumen de las células y la pared celular pueden contener diferentes materiales.

Dadas las características estructurales las posibles fuentes de variación en el leño son:

Tipos de células presentes y sus proporciones.

Tamaño de los diferentes tipos de células.

Espesor de la pared celular.

Dirección del eje de la célula en referencia al tronco.

Proporción de un tipo de células con respecto a otro.

Composición de la pared celular.

Naturaleza, presencia y distribución de materiales extraños.

(Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de Ciencias Forestales., 2000)

2.1.1 Fisiología vegetal:

- **Parénquima**

Es un tejido vivo, metabólicamente activo, principal representante de los tejidos denominados fundamentales (parénquima, colénquima y esclerénquima). El tejido parenquimático puede presentar hasta el 90 % de una planta herbácea. Es un tejido sencillo que está implicado en una gran variedad de funciones dependiendo de dónde se encuentre, como la fotosíntesis, el almacenamiento, la elaboración de sustancias orgánicas y la regeneración de tejidos. El parénquima, o las células parenquimáticas, se encuentra en prácticamente todos los sistemas de tejidos de la planta. Forma masas continuas de células en la corteza y en la médula de tallos y raíces, es un elemento de los tejidos conductores, aparece en el mesófilo de la hoja, en la pulpa de los frutos y en el endospermo de las semillas. Este tipo de tejido rellena espacios entre otros tejidos y dentro de ellos. (Mejías Manuel P. 2017)

- **Colénquima**

La colénquima es un tejido vivo formado por un solo tipo celular, la célula colenquimática. Se caracteriza por estar viva, por tener paredes engrosadas y por tener una morfología elongada en la dirección del eje principal. Presentan una gruesa pared celular primaria que las diferencia de las células parenquimáticas y caracterizada por engrosamientos distribuidos de manera desigual, lo que confiere al tejido gran resistencia a la tensión y a otros tipos de estrés mecánico. Se considera pared primaria puesto que puede crecer en superficie, además de en grosor. Las células colenquimáticas, al igual que las células parenquimáticas, son capaces de reanudar una actividad meristemática gracias a que sus paredes celulares son primarias y no lignificadas, a pesar de su grosor. Sólo ocasionalmente desarrollan paredes secundarias. (Mejías Manuel P. 2017)

- **Esclerénquima**

El esclerénquima, a diferencia de la colénquima, presenta dos tipos de células con pared celular engrosada, pero ésta es secundaria y lignificada en las células maduras. La palabra esclerénquima proviene del griego "Skléros" que significa duro, seco y áspero. Las células

esclerenquimáticas maduras no contienen citoplasma y son células muertas. Gracias a la estructura de sus paredes celulares el esclerénquima tiene una función muy importante en el soporte de los órganos que han dejado de alargarse. Protegen las partes más blandas de las plantas y más vulnerables a estiramientos, pesos, presiones y flexiones. Por eso, aunque está distribuido por todo el cuerpo de las plantas, ya sean estructuras con crecimiento primario o secundario, es más abundante en tallos y hojas que en raíces. (Mejías Manuel P. 2017)

2.2. Composición química de la madera.

La madera está constituida principalmente por celulosas correspondiente al 40% - 45% de su pared celular, también de hemicelulosa o poliosas entre 20% - 30% de su pared celular, la lignina entre un 20% - 30% de su pared celular, y por último se agregan una serie de compuestos accesorios (extraíbles) cuya proporción está en un 1% - 10%.

Compuestos de bajo peso molecular: Su distribución y composición es variable en las distintas estructuras morfológicas del árbol. No participan en las funciones mecánicas y estructurales como los compuestos antes mencionados, pero su presencia es fundamental para llevar adelante los diversos procesos metabólicos que dan vida a un árbol como entregar energía, proteger de ataques de insectos y hongos o formar parte de enzimas. Su naturaleza es diversa y como forma de simplificación para clasificarlos, se los divide en materia orgánica y materia inorgánica (Sjöström, 1993).

2.3. PARED CELULAR

La pared celular es la envoltura que rodea totalmente el protoplasto de las células vegetales. Su presencia distingue las células vegetales de los animales y es la base de muchas de las características de los vegetales como organismos. La pared es rígida y mantiene la forma y tamaño de la célula. Previene la rotura de la membrana plasmática cuando aumenta el volumen provocado por la entrada de agua en la vacuola. Muchos tipos de células se identifican por la estructura de sus paredes, reflejando una estrecha relación con la función de la célula; por ejemplo, células cuya función es el sostén mecánico de la planta presentan paredes engrosadas o, en los tejidos externos, las paredes dan protección contra la abrasión del viento, la luz ultravioleta y la desecación. Estas características superficiales de la pared, determinan la textura del tejido. (Flores-Vindas, 1999)

2.3.1. Estructura de la pared celular.

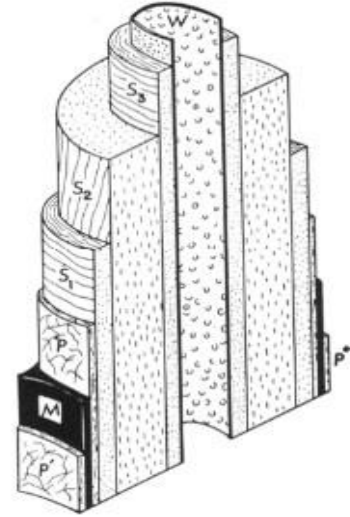
La lámina media: es la primera membrana de separación entre un par de células nuevas en el proceso de división celular, está constituida principalmente por pectato sustancia de calcio y magnesio, cuya función es ligar una célula con otra. A partir de esta membrana se depositan en el interior de la célula microfibrillas de celulosa, formando una trama desorganizada, que constituye la pared primaria.

M = lámina media **P** = pared primara

S1, S2, S3 =capas de pared secundaria

W = capa verrugosa

Pared de una traqueida mostrando sus diversas capas y la orientación característica de las microfibrillas.



La pared primaria: Es mucho más elástica y acompaña el aumento en dimensión de la célula en el momento de su diferenciación. Una vez alcanzado el tamaño definitivo se depositan, junto a la membrana primaria, microfibrillas de celulosa con cierta orientación, distinguiéndose 3 capas bien nítidas. Estas tres capas se designan como S1, S2 y S3 y forman **la pared secundaria** de la célula. Paralelamente al depósito de pared secundaria se inicia, de afuera hacia adentro, el proceso de lignificación que es mucho más intenso en la lámina media y en la pared primaria (las células meristemáticas y la mayoría de las parenquimáticas no están lignificadas). Revistiendo el lumen aparece, en muchas células, una capa verrugosa que se interpreta como restos de protoplasma. Los elementos estructurales fundamentales de la pared celular son las **microfibrillas**, las cuales están inmersas en una sustancia básica llamada matriz.

La matriz está compuesta principalmente por pectinas y hemicelulosas, las microfibrillas por celulosa. Las microfibrillas son a su vez formadas por grupos de fibrillas elementales, las cuales encierran más o menos 36 cadenas de celulosa. Las fajas de microfibrillas (más o menos 20) forman microfibrillas y éstas finalmente las láminas de pared celular. (Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de Ciencias Forestales., 2000).

2.3.2. Principales componentes de la madera

La madera presenta una estructura celular en la que cada célula se caracteriza por poseer una cavidad central o lumen, y una pared compuesta por varias capas diferentes. Los componentes principales de la madera son la celulosa, la hemicelulosa, y la lignina. Están presentes dentro de las paredes de las células (fibras, vasos y traqueidas) en las maderas de coníferas y latifoliadas. En la tabla 4 se indican los componentes químicos de la madera, su participación porcentual en la estructura de la pared celular y su función. (Umlandt, 2022)

- **La celulosa:** Sustancia que forma el esqueleto de los vegetales. Es un polisacárido estructural que constituye la mitad del material total de la madera aproximadamente y está formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales. Sirve de aguante a la planta, le da protección y es muy resistente a los agentes y componentes químicos, insoluble en casi todos los disolventes. (Umlandt, 2022)
- **La lignina:** Es un polímero resultante de la unión de diversos ácidos y alcoholes fenilpropiónicos que está presente en las paredes celulares de organismos del reino, plantas y también en las Dinophytas del reino Chromalveolata. Este polímero proporciona dureza, protección y rigidez, es utilizada por la industria de los plásticos. (Umlandt, 2022)
- **Hemicelulosa:** se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, que es capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que forman la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean. (Umlandt, 2022)

Otros componentes minoritarios que forman parte de la madera son: resinas, grasas, ceras y otras sustancias. Además, en su composición destaca el hidrógeno en su mayoría, pero también el oxígeno, el carbono, el nitrógeno y las cenizas. En menor cantidad podemos encontrar el potasio, sodio, calcio, silicio y otros elementos. (Umlandt, 2022).

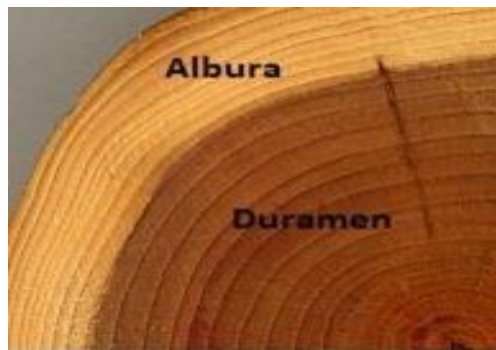
2.4. Estructura anatómica de la madera.

La estructura anatómica de la madera depende principalmente de la ordenación de los diferentes elementos anatómicos que la constituyen. La estructura de la madera de las coníferas¹ se considera más simple y homogénea que en el caso de las frondosas cuya

estructura se considera más compleja. Los siguientes elementos caracterizan estructuralmente la madera: (Sánchez., 2010).

- **El duramen:** es la parte interna de la madera. Suele presentar un color oscuro y una alta densidad.
- **La albura:** es la parte externa de la madera. Posee una tonalidad más clara que el duramen y se considera madera blanda.

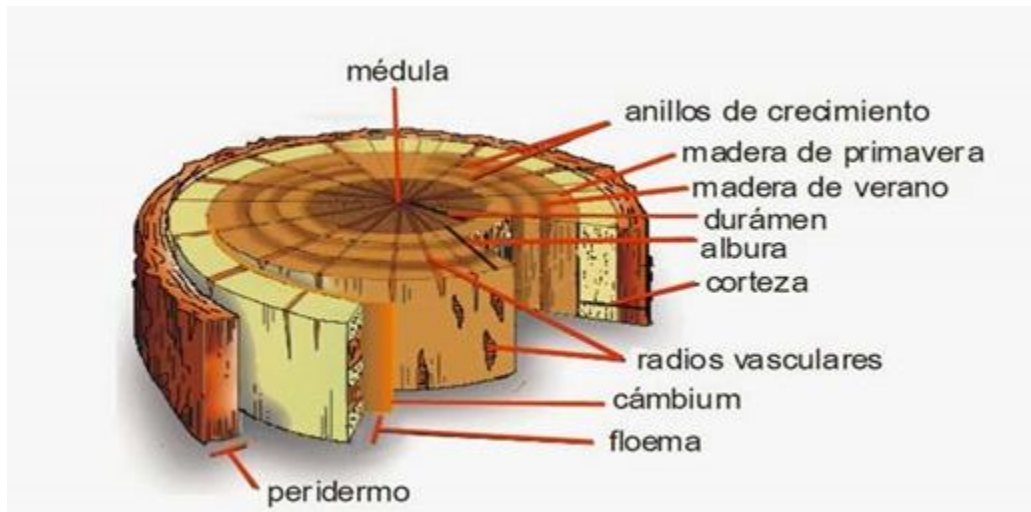
Ilustración 1: Albura y Duramen



Fuente: (Sánchez., 2010)

- **Los anillos de crecimiento:** son nuevas células que se originan a lo largo de la vida de la madera. Si cortamos la madera de forma transversal, los anillos de crecimiento son las diferentes circunferencias con diversidad de tamaños y colores que aparecen en la madera. Los anillos de crecimiento nos permiten conocer la edad que tiene un árbol. Además, en función del momento en el que transcurra el crecimiento, se puede distinguir la madera de primavera y la madera de verano.

Ilustración 2: Torta-Anillos de Crecimiento



Fuente: (Sánchez., 2010)

- **La fibra:** (veta) es el conjunto de células dispuestas en la dirección del eje del árbol, sin considerar, ni los elementos vasculares ni las células de parénquima. Se distinguen dos clases de fibras debido a los cambios que se producen en las dimensiones y disposiciones de este conjunto de células: las fibras rectas y las fibras no rectas.
 - Las fibras rectas originan piezas de madera que presentan mayor calidad desde el punto de vista estructural. Este tipo de fibras discurren de forma paralela al eje del árbol.
 - Las fibras no rectas forman piezas que destacan visualmente debido a las figuras que originan. Este tipo de fibras no-rectas se subdivide a su vez en tres grupos de fibras: las fibras onduladas, las fibras reviradas y las fibras entrelazadas. (Sánchez., 2010).
- **El grano:** hace referencia a la disposición de las fibras (traqueidas en las gimnospermas y vasos en los angiospermas) en relación con el eje longitudinal del tronco.
 - En coníferas, el grano se refiere al diámetro relativo de las traqueidas, mientras que en las frondosas se refiere al de los vasos.

- Existen varios tipos de grano: basto o grueso, medio y fino. Los mejores acabados son con el grano fino.
- En el crecimiento de los árboles influyen numerosos factores externos que afectan a la madera. (Sánchez., 2010).
- La madera de reacción es una de las múltiples respuestas que tiene un árbol ante la influencia de algún factor externo. Concretamente este tipo de respuesta se genera cuando el árbol está sometido a tensiones que pueden predominar en una sola dirección. (Sánchez., 2010).
- En la madera de tracción, los vasos poseen pared más gruesa y disminuye el porcentaje tanto de fibras como de parénquima. Esta madera es usada para desintegración, pues sus propiedades están muy modificadas. (Sánchez., 2010).
- La madera de compresión posee mayor densidad, anillos de crecimiento más anchos, y con proporción más abundante que los de verano, sumado a otras características anatómicas producen una hinchazón y merma longitudinal mayor.
- La higroscopicidad de la madera es el término que hace referencia al intercambio de la humedad con el ambiente que les rodea. De esta forma a cada estado ambiental (temperatura y humedad relativa del aire) le corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico. (Sánchez., 2010).

2.5. Estructura macroscópica:

Es aquella que se observa a ojo desnudo o con lupa de diez aumentos para su estudio, debido a su heterogeneidad se establecen tres ejes: longitudinal (paralelo a la fibra), radial (que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco) y tangencial (paralela a un eje tangente al tronco o al anillo de crecimiento) (W.Leon, 2001).

2.6. Estructura microscópica:

Está formada por un haz de tubos de gran longitud orientados en la dirección longitudinal unidos por las paredes. La sustancia que hace el esqueleto básico de las células de los árboles es la celulosa, la cual se dispone según trenzados llamado microfibras, la celulosa en la

microfibra está embebida en una matriz de hemicelulosa y envuelta en lignito (W.Leon, 2001).

2.7. Propiedades físicas de la madera:

Las propiedades físicas de la madera, son aquellas que para manifestarse no requieren de la aplicación de una fuerza externa sobre la muestra, se determinan sin alterar ni cambiar la integridad de la misma, consiste en la observación, pesada, medida y el secado de cada probeta.

Las propiedades dependen tanto del crecimiento, edad, contenido de humedad, posición del tronco y de la ubicación del terreno, de la cantidad de sustancias, y la proporción de los componentes primarios que se encuentran presentes en la pared celular y de la orientación y arreglo de los materiales de los diferentes tejidos.

Las propiedades físicas pueden ser determinadas tomando en cuenta los siguientes parámetros: Contenido de Humedad, Humedad Máxima, Contracciones (tangencial, radial, volumétrica), Densidad o Peso Específico (verde, seco al aire y anhidro), Porosidad y Tasa de Estabilidad. (Medina & Estela Pan, 2016).

2.7.1. Factores que Influyen en las Propiedades Físicas:

Los factores que influyen son:

- Cantidad de sustancia de la pared celular presente en una muestra.
- Cantidad de agua presente en la pared celular.
- Proporción de los componentes primarios en la pared celular, la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas
- Arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos.

2.7.2. Contenido de humedad:

Es la cantidad de agua que contiene la madera, expresada en porcentaje. La variación del contenido de humedad en la madera, produce una variación de sus dimensiones; cuando

aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae a partir del punto de saturación de las fibras. (SILVA, 2006).

El contenido de humedad influye en el peso de la madera, a la vez que afecta a otras propiedades físicas (como el peso específico y contracción o hinchamiento de sus dimensiones. Respecto al comportamiento, la humedad es un factor determinante en su durabilidad, resistencia, peso y sobre todo en sus dimensiones, se hincha cuando gana humedad y contrae cuando la pierde humedad. Puchaicela, (2013).

En un árbol recién cortado (J. & H., Ensayos mecánicos de la madera. , 1982.) la madera contiene una gran cantidad de agua que se localiza tanto en los vasos y lúmenes celulares como en la pared celular y en otros espacios que constituyen la misma.

Cuando el contenido de humedad es modificado directamente varían las dimensiones, las que se ven incrementadas mientras mayor sea la densidad de la madera. El método de secado en estufa o pesada, es el más exacto y confiable. (DfAZ, 2005).

2.7.3. Movimiento del agua en la madera.

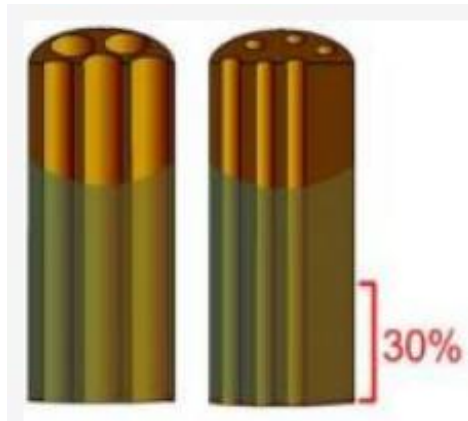
El agua de la madera se encuentra en espacios intercelulares y en las paredes de las células. El agua se mueve de las zonas de mayor contenido de humedad a zonas de menor contenido de humedad, es decir que la superficie debe poseer menor contenido de humedad con relación al interior. En las frondosas el movimiento de agua es a través de los vasos y fibras, durante el secado el movimiento del agua es mayor en sentido longitudinal, luego radial y es mínimo en sentido tangencial.

2.7.4. Formas en que se encuentra el agua en la madera

El agua en la madera puede presentarse bajo tres formas diferentes:

- a) **Agua Libre:** Es la que se encuentra relleno las cavidades del lumen celular, dando a la madera lo que comúnmente se denomina la “condición verde” y al iniciarse el secado, el agua libre de los poros se va perdiendo fácilmente por evaporación, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. En este punto, la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras”, que corresponde a un contenido de humedad que fluctúa entre 25-35 %. 10.

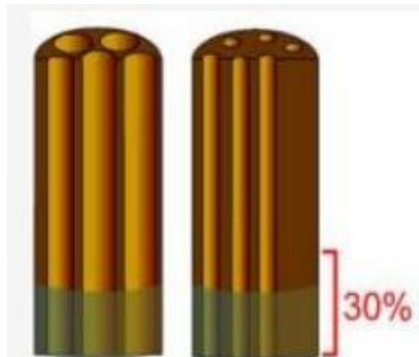
Ilustración 3. Cuadro agua libre dentro de una estructura anatómica



Fuente: Calvache J. E.

- b) Agua de impregnación** Es el agua que está contenida en las paredes celulares, o la máxima cantidad de agua que puede absorber en una atmósfera saturada, comprendida entre 0 % a 30 % de contenido de humedad. Tiene gran influencia sobre las propiedades físico-mecánicas.

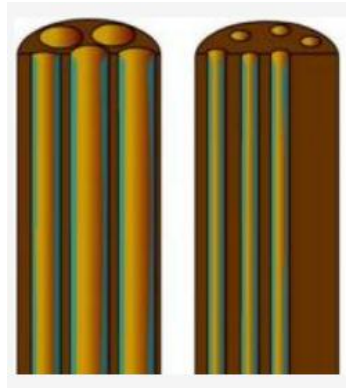
Ilustración 4. Agua de impregnación dentro de una estructura anatómica.



Fuente: Calvache J. E.

- c) Agua de constitución o agua combinada:** Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).

Ilustración 5. Agua de constitución dentro de una estructura anatómica



Fuente: Calvache J. E.

2.8. Clasificación de la madera según su humedad:

Se define como la relación entre la cantidad de agua y el peso seco o anhidro de la madera y se expresa en %. Según el contenido de humedad de la madera se suelen emplear la siguiente clasificación:

- a) **Estado de la madera verde.**
- b) **Estado de la madera seca al aire.**
- c) **Estado de la madera anhidra.**

Estado de la madera verde: Es aquella cuyo contenido de humedad es superior a 18%, este tipo de madera se utiliza en construcción, pilotes sumergidos en agua. El mayor riesgo que presentan estas maderas, son las pudriciones, la madera verde se seca en el sitio de utilización de la misma; se usa para la construcción de puentes, caballetes y galpones de baja calidad (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera)Ministerio de la Producción, 2009).

Estado de la madera seca al aire: Es aquella madera que se somete a un proceso de secado, ya sea natural o artificial lo que hace que pierda el agua libre y parte del agua de imbibición. Posee un contenido de humedad entre 12 y 18 %; es la forma más sencilla y económica para secar madera aserrada. Se utiliza principalmente para durmientes, postes y son maderas destinadas a tratamientos con protectores (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera)Ministerio de la Producción, 2009).

Estado de la madera anhidra: Es aquella madera que tiene un contenido de humedad menor del 12 hasta 0 %.

Todo este proceso que ocurre en una pieza de madera se debe a que esta es un material netamente higroscópico, es decir tiene la propiedad de ganar y perder humedad en intercambio con la humedad del ambiente, hasta establecerse en un equilibrio. Dicha propiedad se debe a dos características, una de ellas es la estructura porosa capilar que permite a la madera el paso de los vapores líquidos a su interior, y la otra característica es su composición química, que hace que los grupos oxidrilos reaccionen a las moléculas de agua. (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera)Ministerio de la Producción, 2009).

2.9. Determinación del contenido de humedad:

Existen diversos métodos para ejecutar el cálculo del contenido de humedad, los mismos que serán descritos a continuación:

a. Secado al horno o por pesadas:

Es uno de los métodos más utilizados, debido a sus ventajas que presenta, ya que para su ejecución se utiliza muestras de pequeñas dimensiones, es preciso y sencillo, sin embargo una de las desventajas es el tiempo que se necesita para obtener resultados, consiste en cortar una pieza de madera con dimensiones establecidas según la norma COPANT MADERAS, las muestras son pesadas en la balanza obteniendo así su peso húmedo, posteriormente se las introduce a una estufa con temperaturas de 48 °C, 72 °C, 96 °C y 101 °C, +- 2 °C en intervalos de 24 horas peso que es registrado como anhidro.

Para realizar su cálculo utilizamos la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100\%$$

Dónde:

CH= Contenido de Humedad en %.

Po= Peso Seco al Horno en gr.

Ph= Peso Húmedo en gr.

b. Xilohigrómetro eléctrico:

Son medidores eléctricos de humedad, fáciles de manejar y se obtienen lecturas rápidas permiten realizar el cálculo del contenido de humedad sin cortar la pieza, existen dos tipos de xilógrafos que son de resistencia y capacidad. En ambos casos el contenido de humedad se lee directamente.

c. Xilohigrómetro de resistencia:

Poseen dos electrodos de tipo aguja, cuando estos se introducen a la madera a una profundidad de 1/5 de espesor, el resultado brindado es el promedio del contenido de humedad de la muestra en estudio, lo mismo que se debe al normal gradiente que tiene.

Una de las ventajas que presenta las lecturas realizadas son confiables únicamente entre el 0 % al 30 % (Agua Higroscópica), debido a que la resistencia eléctrica es proporcional solo en el rango mencionado.

d. Método por destilación:

Al ejecutar el método por pesadas en especies que poseen maderas que contienen sustancias volátiles, aceites y resinas los errores pueden alcanzar del 5 % al 10 % del peso seco, utilizando el método por destilación se puede eliminar los errores.

e. Máximo contenido de humedad:

Se presenta cuando las paredes celulares se encuentran completamente saturadas y los lúmenes están llenos de agua, se da al colocar la madera en un ambiente demasiado húmedo, como ser sumergir la madera en un recipiente o estanque con agua por largo tiempo. (WELLMANN, 2015).

2.10. Densidad:

Es la masa por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad, expresada en gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3), la madera por ser un material poroso está constituido por sustancias las mismas que son indicadores de las propiedades mecánicas, características de trabajabilidad comportamiento en el secado, propiedades eléctricas, térmicas y acústicas. Se distinguen cuatro densidades para la misma muestra de madera que son:

- Densidad Verde (DV): Es la relación existente entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).
- Densidad Seca al Aire (DSA): Relación existente entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA).
- Densidad Anhidra (DA): Relación que existe entre el peso anhidro (PSH) y el volumen anhidro.
- Densidad Básica (DB): Es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV), es bastante utilizada debido a las condiciones en las que se basa, ya que son estables en una especie determinada.

2.10.1. Cambios dimensionales de la madera:

Las alteraciones de la humedad producen cambios dimensionales en la madera, se debe a las variaciones de ganancia o pérdida de agua en la pared celular.

a) Contracciones y dilatación de la madera:

Se refiere a los cambios tanto en dimensiones como en volumen, debido a las variaciones del contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras, es la disminución de dimensiones, volumen de la madera se expresa en términos de porcentaje correspondiente al estado verde.

b) Anisotropía:

Posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres dimensiones anatómicas, la dilatación radial y tangencial aumentan con la densidad de la madera, la dilatación longitudinal no depende de la densidad pero varía entre especies, las microfibrillas que forman la pared celular se colocan en mayor proporción a lo largo del eje de la célula y el agua higroscópica rellena los espacios entre ella, dicha agua al ser eliminada las microfibrillas tienden a unirse entre sí por motivo que hace que la pared celular sufra una contracción en el corte transversal (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEmadera) Ministerio de la Producción, 2009).

C) Higroscopicidad:

La madera es un material higroscópico que tiende a absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire). De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEMadera)Ministerio de la Producción, 2009).

D) Estabilidad Dimensional:

Los cambios de humedad que suceden en el medio hacen que las maderas reaccionen a diversas formas, entre menores sean los valores de contracción y los coeficientes de retracción es menor al comportamiento de las piezas de madera que se encuentran sujetas a cambios ambientales.

La relación existente entre las contracciones tangenciales y radiales, indica la aptitud que tiene una madera para comportarse una vez alcanzado el contenido de humedad correspondiente al equilibrio higroscópico del sitio. (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEMadera)Ministerio de la Producción, 2009).

2.11. Peso Específico de la Madera:

El peso específico (PE) es la relación entre el peso de la madera a un determinado contenido de humedad y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera, considerando que la densidad del agua es igual a 1, se dice que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua iguala a su peso Específico (Centro de Innovación Tecnológico de la Madera (CITEMadera)Ministerio de la Producción, 2009).

2.12. Peso Específico Real:

Es el peso que corresponde a la pared celular, es referido como el peso específico de la madera sin tomar el volumen de espacios inherentes a la misma, es un valor relativamente constante para todas las especies de madera, ya que solamente se toma en cuenta la densidad de los componentes químicos que forman la pared celular de la madera. Para su determinación es necesario medir el volumen de los espacios vacíos, la manera de realizarlo es utilizando un elemento que desplace al aire de sus espacios (Aguirre, 1991).

-El peso específico aparente de una madera es la relación entre el peso y su volumen, incluyendo el volumen de los poros que contiene la madera, medidos en las mismas condiciones de humedad.

-La densidad básica (peso seco entre volumen húmedo) es un variable intrínseca de la madera que describe la cuarta dimensión del arbolado.

2.13. Porosidad:

Es el porcentaje total de espacios vacíos en la madera cuando es eliminada la totalidad del agua en la pieza.

Los poros son orificios de las células tubulares observables en la sección transversal, generalmente se encuentra abierto, originado por el corte transversal de un vaso,

Existen tres tipos de porosidad:

- **Porosidad circular:** Presenta poros grandes al inicio de los anillos de crecimiento y poros pequeños al final del mismo.
- **Porosidad semicircular:** Se presentan poros grandes en la madera temprana y poros pequeños en la madera tardía, pero existe una transición gradual entre los poros de madera temprana y los de madera tardía.
- **Porosidad difusa:** Los poros no presentan ningún patrón definido de variación, en cuanto a tamaño, a lo ancho del anillo de crecimiento. Se pueden presentar poros de diferentes tamaños entremezclados entre sí o poros de un tamaño aproximadamente uniforme a lo ancho de la sección transversal.

2.14. Punto de Saturación de las Fibras (PSF):

Es el punto en el que el agua higroscópica ocupa totalmente las paredes celulares y el agua libre de los lúmenes se ha evaporado. Su valor varía entre 25% hasta 35% y se considera el 30% de PSF como el límite para la presencia de cambios dimensionales en la madera. A partir de este punto, la madera comienza a contraer sus dimensiones volumétricas (espesor, ancho y largo).

2.15. Fibras:

Son células existentes solamente en latifoliadas, constituyendo el mayor porcentaje de su leño y con función única de sustentación. Su proporción en el volumen total y el espesor de sus paredes influyen directamente en el peso específico, grado de variación volumétrica e indirectamente en las propiedades mecánicas de la madera. Las fibras en coníferas son estructuras complejas que juegan un papel fundamental en la estructura y función del árbol. Su disposición en forma de espiral, dirección longitudinal y pared celular compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina les proporcionan resistencia y rigidez. Las fibras son células alargadas y estrechas, de extremidades afiladas que se parecen ligeramente a las traqueidas del leño tardío de Coníferas, de las que se diferencian por ser más cortas, puntiagudas y con pocas y pequeñas puntuaciones. (W.Leon, 2001).

2.16. Descripción taxonómica de la especie

Taxonomía	
Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophita
Clase	Angiosperma
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de ordenes	Sepaloideanos
Orden	Urticales
Familia	Moraceae
Nombre científico	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.
Nombre común	Mora chaqueña

FUENTE: (Herbario Universitario (T.B.), 2024).

- **Hojas**

Las hojas miden 5 – 15 cm. de largo y de 2 a 6 cm. de ancho, son simples, alternas, dispuestas en dos hileras y tienen un peciolo corto. Su forma es oval acabadas en punta y con la base plana o cordada. Pueden ser enteras, aserradas, dentadas o hasta lobuladas.

- **Flores**

Las flores masculinas y femeninas ocurren en arboles diferentes (especies dioica) las masculinas aparecen en amentos (cordoncitos colgantes) y las femeninas en cabezuelas solitarias de 4 – 5 mm de diámetro.

- **Frutos**

Los frutos sin carpos, son pequeños, comestibles y dispuestos en cabezuelas de 1 – 2 cm. de diámetro. Contienen una pulpa carnosa y comestible. Son verdes cuando jóvenes y rojos cuando maduran. En el exterior tienen pequeños pelitos.

- **Semilla**

Las semillas se encuentran en el fruto, este contiene gran número de semillas planas color café, de 2-3 mm de largo, con una base redondeada y acabadas en punta.

2.17. Madera:

La madera se utiliza para la fabricación de chapa de muy buena calidad y para aserrió. Presenta un problema en su manejo pues es muy dura y pesada y posee cierta cantidad de resina. No obstante, se sugiere para usos futuros en la fabricación de duelas y parquets.

2.18. Usos:

Se usa como forraje para los animales ya que su fruto contiene muchas vitaminas.

Es una especie vegetal de importancia económica por su uso como madera debido a que posee excelente calidad por sus propiedades como dureza, color amarillo, alta densidad (0.80-0.85 g/cm³), buen pulimento y resistencia al ataque de hongos e insectos. Es utilizada para elaborar construcciones pesadas, implementos agrícolas, puertas y artesanías, entre otros. Adicionalmente, a partir de la corteza de los árboles se extraen diferentes tintes y colorantes, de ahí, que en la antigüedad ha sido denominado “tornasol de los tintoreros” debido a que el

ácido úsnico de la planta produce diferentes colores de acuerdo al pH del medio, siendo utilizado en la tinción de lana, seda y cueros. Igualmente, la planta se siembra para la recuperación de suelos, en asocio con cultivos agrícolas y para el establecimiento de cercas vivas. (Ministerio de Educación, 2013).

2.19. Ubicación:

Villa montes, tercera sección de la provincia gran chaco de Tarija, se encuentra ubicada al noreste del departamento. Los límites del municipio son: al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con el municipio de Yacuiba y la republica argentina, al este con Paraguay y al oeste con la provincia O´connor del departamento de Tarija.

Villa Montes se encuentra a 251 km de la ciudad de Tarija el viaje es de 6 horas en auto particular o con empresa de transporte como minivan o flota (Plan Departamental de Agua, 2013).

2.20. Importancia del género:

Es una especie vegetal utilizada en procesos de restauración ecológica para la recuperación de suelos, construcción de cercas vivas y siembra en asocio con otros cultivos agrícolas. Adicionalmente, representa múltiples usos a nivel maderero, industrial y medicinal.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y
MÉTODOS

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

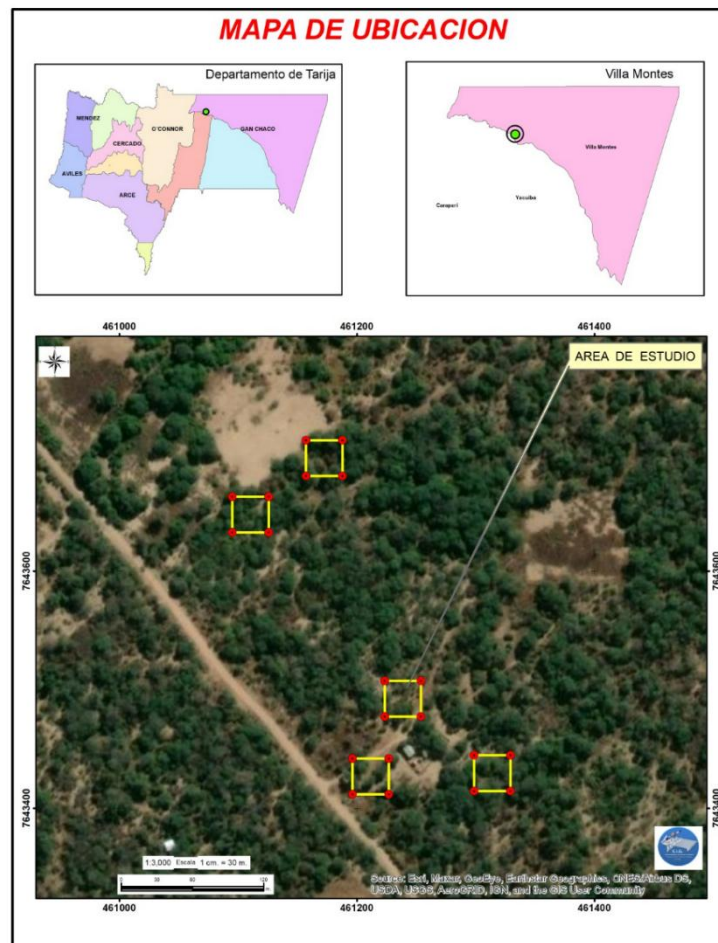
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización:

El estudio se realizó en la comunidad de Ibopeite del municipio de Villa Montes, Provincia Gran Chaco Departamento de Tarija.

3.1.2. Accesibilidad:

Villa Montes se encuentra a una distancia de 251 km por carretera al este de Tarija, la capital del departamento.



Fuente: Laboratorio de SIG.

3.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS

3.2.1. Clima:

El clima depende en gran medida del relieve y de su variación altitudinal, que va desde los 262 msnm en el extremo sudeste (Esmeralda), hasta cerca de los 2.000 msnm, en la cordillera del Aguaragüe en el extremo oeste, diferenciándose 2 pisos altitudinales: Piso basal o de baja altitud (0-500 msnm) y submontano (500-1500 msnm), de acuerdo al estudio FAO-UNESCO, 1973, adaptado para Bolivia (ZONISIG-APDS, 2011).

3.2.2. Vegetación:

La vegetación, corresponde a una formación de monte xerofítico y natural del chaco, con una diversidad de especies nativas y un considerable potencial maderable. La vegetación ha sido clasificada como monte bajo semiárido, altamente degradado e intervenido sobre todo por el uso ganadero, existiendo diversidad de especies, cuya densidad varía fundamentalmente debido a los cambios climáticos, altitud y geomorfología de la zona. La vegetación está compuesta por xeromórficas con follaje caducifolio, adaptadas a condiciones de extrema sequía y altas temperaturas (ZONISIG-APDS, 2011).

3.2.3. Flora:

La vegetación, corresponde a una formación de monte xerofítico y natural del Chaco, con una diversidad de especies y un considerable potencial. Por ejemplo: Mistol, palo zapallo, chañar, tipa colorada, mora chaqueña, roble, palo borracho, tala, cedro, quina, algarrobo, algarrobilla, wayacan.

3.3. Relieve:

3.3.1. Llanura chaqueña:

Un relieve ligeramente ondulado, constituido por una superficie llana con depresiones, con una elevación que oscila entre 350 a 500 msnm. Suelo de textura franco-arenosa, con densidad aparente de 1,60 g/cm³ densidad aparente que puede afectar al crecimiento de las raíces, depósitos coluviales y fluviales con pocos niveles de salinidad, buena distribución de nutrientes, ligero grado de erosión.

3.3.2. Fauna:

Por las características ecológicas el Municipio de Villa Montes, presenta una variedad e imponente riqueza faunística y de vida silvestre, tanto en aves, mamíferos, peses, reptiles, etc. Estos se encuentran distribuidos toda la zona de acuerdo al habitat en que viven, por ejemplo: Chanco de monte, venado, monos, acuti, jaguar, puma, oso hormiguero, tatú, zorro, iguana, dorado, zurubí, sábalo, serpientes.

3.4. Aspectos Socioeconómicos:

La principal actividad económica del Municipio es la producción hidrocarburífera que está en manos de empresas transnacionales. La agricultura es el segundo rubro productivo, con cultivos de maíz, soya, tomate, papan y cítricos. En los distritos indígenas, la producción agrícola es muy reducida, siendo destinada principalmente al consumo doméstico. La producción agrícola tropieza con problemas de comercialización, falta de asistencia técnica, fluctuaciones de los precios y falta de sistemas adecuados de conservación y almacenamiento.

Otra actividad productiva es la artesanía en base a madera, corteza de árboles y fibras vegetales, con productos como muebles, cestos, canastas, sedosos, bolsos, hamacas, redes, etc., actividad realizada principalmente por los Weenhayek.

3.5. Población:

El municipio de Villa Montes actualmente cuenta con una población de 55.704 habitantes según el instituto nacional de estadística INE. 2022

3.6. MATERIALES

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se utilizó una serie de materiales, equipos y maquinarias para poder desarrollar el estudio de las propiedades físicas de la especie Mora (*Maclura tinctoria L.*) Proveniente del municipio de Villa Montes, provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

El análisis de suelo revela un suelo franco arenoso, denso y ligeramente ácido, que puede requerir riegos frecuentes y cuidados específicos para optimizar su fertilidad y apoyar el crecimiento saludable de las plantas.

3.6.1. Material de gabinete:

- Libreta de anotaciones
- Norma COPANT MADERAS (COPANT 458, 459, 460, 461,462)
- Materiales de escritorio
- Computadora
- Calculadora
- Planillas de registro
- Impresora

3.6.2. Material vegetal:

- Madera de Mora (*Maclura tinctoria L.*)

3.6.3. Materiales de campo:

- Motosierra
- Cámara fotográfica
- Vehículo para el transporte del material
- Machetes
- Flexómetro
- Brújula
- Libreta de campo
- Spray color Rojo.

3.6.4. Materiales de laboratorio:

- Balanza eléctrica (precisión de 0.01 gr)
- Estufa

- Soporte universal
- Agua destilada
- Formularios
- Cámara fotográfica
- Parafina (VELAS)
- Vaso de precipitado
- Marcador indeleble
- Punzón
- Recipiente
- Tornillo micrométrico
- Desecador

3.7. METODOLOGÍA

La metodología empleada en la presente investigación es cuantitativa.

3.7.1. Método de investigación:

Se aplicó el método descriptivo con un diseño cuantitativo, basado en la medición y pesos de las probetas en los diferentes estados de la madera (estado verde, estado seco al aire y estado anhidro), donde se evaluó el comportamiento de las probetas en los ensayos de propiedades físicas de la madera, siguiendo la base de las normas COPANT MADERAS.

3.7.2. Técnicas y Normas a emplear:

La investigación se realizó siguiendo la base de las normas COPANT MADERAS 30:1- 013 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas).

CUADRO 1: Normas Técnicas de la Comisión Panamericana “COPANT”

COPANT 458	Selección y recolección de las muestras
COPANT 459	Acondicionamiento de las muestras físico-mecánico

COPANT 460	Método de determinación del contenido de humedad
COPANT 461	Método de determinación del peso específico aparente
COPANT 462	Método de determinación de contracción
COPANT 30:1-012	Análisis estadístico

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3. Selección y recolección de las muestras:

El procedimiento de selección y recolección de la muestra se basó en el sistema al azar como recomienda la norma COPANT 458 de manera que todos los componentes (zona, sub zona, árbol.) tengan la posibilidad de ser elegidos. (Cruz, 2006).

Este sistema comprende las siguientes etapas:

- Definición de la población.
- Selección de la zona.
- Selección de los árboles.
- Selección de las trozas.
- Selección de las viguetas dentro de la troza.
- Obtención de las probetas dentro de las viguetas.
- Codificación de las probetas.

3.7.4. Definición de la población:

Para realizar la determinación de las propiedades físicas de la Mora (*Maclura tinctoria L.*) se estableció las características de cada individuo, dentro de la población como la altura, diámetro a la altura del pecho entre otros.

3.7.5. Selección de la zona:

La zona donde se extrajeron los árboles pertenece a la comunidad de Ibopeite del municipio de Villa Montes, provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

Se tomó en cuenta la representatividad de la especie en cuanto a sanidad y calidad de los individuos.

La zona se dividió en cinco parcelas representativas de 30×30 metros, representando una superficie de 900 m^2 . Para empezar con la instalación de las parcelas se realizó tomando el punto de origen con sus respectivas coordenadas, con una wincha se procedió a medir 30 metros con rumbo SW. Para evitar problemas de cierre de las parcelas los rumbos fueron controlados con una brújula y ajustados con la declinación magnética, en las parcelas establecidas se realizó un censo de todos los árboles con sus respectivas coordenadas.

3.7.6. Selección de los árboles:

En cada parcela elegida al azar, se seleccionó 1 árbol por parcela haciendo un total de 5 árboles, considerando la sanidad, un buen fuste y diámetro a la altura del pecho.

CUADRO 2: Datos dasométricos de los árboles.

N°	DAP	AT	Estado sanitario			Coordenadas	
			1	2	3	x	y
I	42	28	X			21° 18' 31,216" S	81° 22' 30,18" W
II	37	25	X			21° 18' 35,976" S	81° 22' 25,228" W
III	45	28	X			21° 18' 38,218" S	81° 22' 26,275" W
IV	54	20	X			21° 18' 28,848" S	81° 22' 27,258" W
V	55	23	X			21° 18' 38,03" S	81° 22' 23,012" W

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

AT: Altura total del árbol

DAP: diámetro altura al pecho

3.7.7. Selección de las trozas:

Se realizó el apeo, desramado de la troza y fueron marcados con pintura para poder identificarlos y anotar en la planilla y codificar, de cada árbol se obtuvo dos secciones, estas fueron sección baja y sección alta, la longitud de las trozas fue de 1,20 metros.

CUADRO 3: Selecciones de las trozas

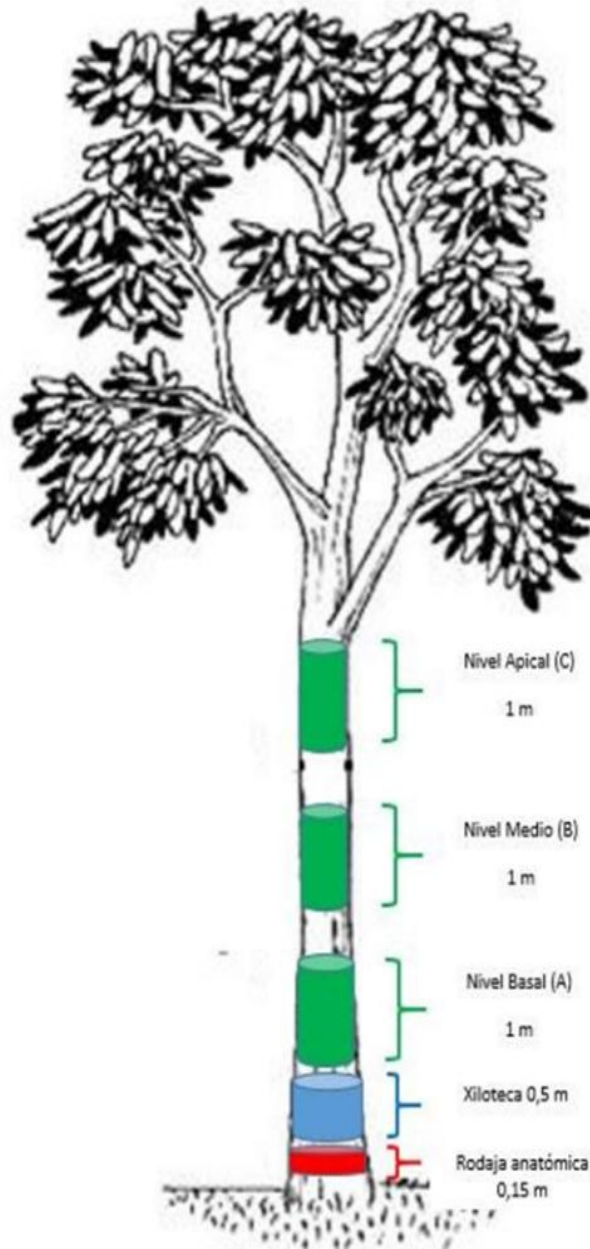
N° ÁRBOL	SECCIÓN A	SECCIÓN C
I	A	C
II	A	C
III	A	C
IV	A	C
V	A	C

Fuente: Elaboración propia.

3.7.8. Extracción de la troza:

Las trozas fueron transportadas del lugar de apeo en camión hasta Tarija y posteriormente llevadas a un aserradero.

Ilustración 6: Distribución de nivel de fuste del árbol



Fuente: (VIVANCO, 2017)

3.7.9. Selección de viguetas dentro de la troza:

Las viguetas fueron obtenidas de los tabloncillos centrales, tratando que los lados estén bien orientados los cuales fueron de 100 cm de sección longitudinal, teniendo en cuenta la escuadría adecuada para una buena orientación de los anillos de crecimiento y obteniendo de cada uno de ellos las viguetas de 4 cm de sección transversal para posteriormente darle una sección transversal requerida de 3X3 cm, cada vigueta fue codificada de la siguiente forma: I, II.

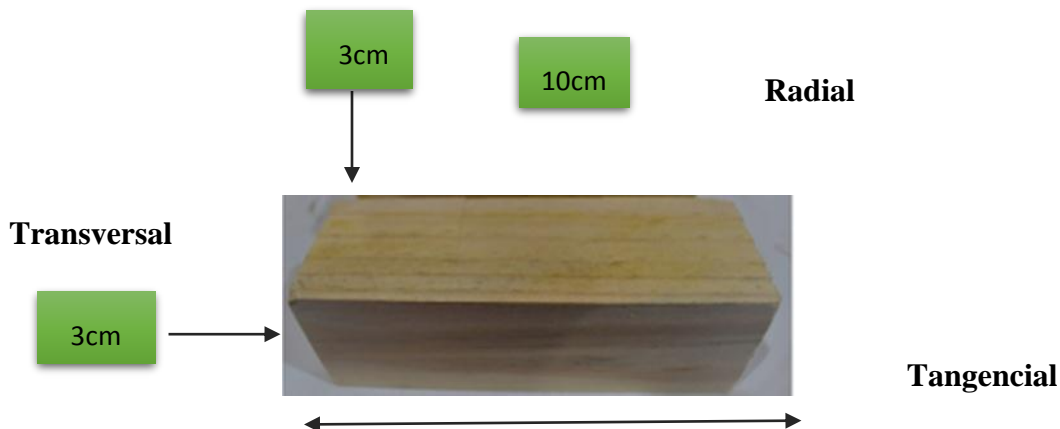
3.7.10. Obtención de las probetas:

En una primera fase se procedió a aserrar los tabloncillos centrales para luego apilarlos en un galpón con una buena circulación de aire.

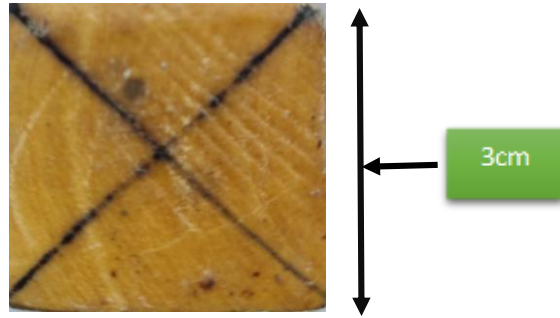
Después de un tiempo se procedió a la preparación de las probetas como indica la norma COPAN de tal forma que dos lados opuestos tengan una cara tangencial paralela a los anillos de crecimiento y los otros dos lados tengan una cara radial.

De cada troza seleccionada se obtuvo 6 probetas haciendo un total de 30 probetas destinadas para el ensayo en estado verde, seco al aire y anhidro. De los listones seleccionados se elaboraron las probetas de dimensiones establecidas por las normas COPANT MADERAS.

Ilustración 7: Vista lateral y frontal de la probeta



Transversal



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4: Dimensiones y número de probetas para los ensayos de propiedades físicas.

Ensayo	Dimensiones de las probetas (cm)	Número de árboles	Número de probetas por árbol
Densidad básica	3×3×10	5	6
Peso específico	3×3×10		
Contracción tangencial total	3×3×10		
Contracción radial total	3×3×10		
Contracción volumétrica total	3×3×10		
Tasa de estabilidad	3×3×10		
Porosidad	3×3×10		

Fuente: Elaboración propia.

3.7.11. Codificación de las probetas:

La codificación de las probetas se realizó para obtener la tabla de datos correcta y para identificar mejor las probetas, de manera que sean claras y sencillas.

Dónde:

II = Número de árbol

A = Troza

1 = Probeta



Preparación de las probetas – propiedades físicas:

Las muestras se obtuvieron de una sección lo más representativa posible se utilizó herramientas apropiadas para realizar las operaciones de corte. Las dimensiones de las muestras para el estudio de propiedades físicas son de 3 cm × 3 cm cuya longitud es de 10 cm.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4. EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS

La determinación de las propiedades físicas se realizó en tres etapas. De acuerdo al estado de las probetas basado en el contenido de humedad.

4.1. Estado verde:

Primera etapa

En la primera etapa, luego de obtener las probetas de la carpintería, se sumergieron en un recipiente con agua hasta alcanzar una saturación de sus fibras en las probetas y alcanzaron un mayor contenido de humedad, para proceder luego a tomar los siguientes datos:

i. Determinar las siguientes dimensiones:

- Dimensión radial verde (D.R.V.)
- Dimensión tangencial verde (D.T.V.)
- Longitud (DLV)

ii. Peso de la probeta (P.V)

iii. Determinar el volumen de la probeta expresado en cm^3 por el método de inmersión en agua, (V.V.) usando agua destilada empleando el principio de Arquímedes.

4.2. Estado seco al aire:

Segunda etapa

En esta etapa se procedió a secar las probetas en condiciones normales de humedad y bajo techo, procediendo a pesar en una balanza con precisión cada 5 días y luego cada 10 días y 15 días, hasta que las probetas tengan un peso constante. Una vez obtenidos el peso constante correspondiente a la etapa seco al aire, se procedió a obtener las dimensiones radiales, tangencial y la posterior determinación del volumen seco al aire por el método de inmersión en agua destilada.

4.3. Estado seco al horno:

Tercera etapa

Se tomó en cuenta los siguientes puntos:

- Colocar las probetas en la estufa, dejando las probetas 24 horas a 40 °C, 48 horas a 60 °C, 72 horas a 80 °C y 96 horas a 101 °C ± 2 °C. Hasta tener el peso constante, Se retirarán las probetas de la estufa y se dejarán enfriar. Se repite el tratamiento de 101 °C ± 2 °C. Hasta encontrar un peso constante (P.S.H.).
- Medir en la probeta lo siguiente: Dimensión Radial Seco al Horno (D.S.R.H), Dimensión Tangencial Seco al Horno (D.T.S.H.), (DLH).
- Parafinar las probetas, eliminando el exceso de parafina y determinar el volumen (V.S.H.), por el método de inmersión con agua destilada.

Una vez obtenido los valores que se registraron de los pesos, dimensiones y volúmenes en los diferentes estados como ser: estado verde, estado seco al aire y estado seco al horno o anhidro. Con los datos obtenidos se procedió a realizar los siguientes cálculos:

- Contenido de humedad %
- Densidad aparente y básica en gr/cm^3
- Contracción normal y total (en radial, tangencial y volumétrica en %)
- Tasa de estabilidad (T/R)
- Porosidad en %
- Humedad máxima en %
- Peso específico al 12% de contenido de humedad.

4.4. PESO ESPECÍFICO Y DENSIDAD BÁSICA.

Según la norma COPANT 461, es el cociente del peso y el volumen de una probeta de madera, ambos a un determinado contenido de humedad. Así se obtiene el peso de las probetas en gramos por la lectura de la balanza y el volumen mediante el método de medición indirecta por inmersión en agua. Después con los datos se determinó el peso específico aparente para los tres estados correspondientes. Con la relación peso anhidro y volumen verde obtenemos la densidad básica o peso específico básico.

CUADRO 5: Densidad en verde, densidad seca al aire, densidad anhidra y densidad básica.

Árbol	Probeta	PV	VV	PSA	VSA	PSH	VSH	DV	DSA	DSH
		gr.	cm ³	gr.	cm ³	gr.	cm ³	gr/ cm ³	gr/ cm ³	gr/ cm ³
I	6	120,86	93,23	87,23	90,14	77,41	86,96	1,30	0,97	0,89
II	6	119,16	92,49	85,39	90,04	70,07	86,78	1,29	0,95	0,81
III	6	120,46	95,01	86,96	89,04	70,32	87,28	1,27	0,98	0,81
IV	6	120,95	93,62	87,12	90,53	78,89	87,95	1,29	0,96	0,90
V	6	122,98	94,78	89,30	92,17	80,99	88,69	1,30	0,97	0,91
\bar{x}	30	120,88	93,83	86	90,38	75,54	87,53	1,29	0,97	0,86

Fuente: Elaboración propia.

En esta parte se está trabajando con el promedio total de cada árbol.

Donde:

PV = Peso verde

PSA = Peso seco al aire

PSH = Peso seco al horno

VV = Volumen verde

VSA = Volumen seco al aire

VSH = Volumen seco al Horno

DENSIDAD VERDE (DV)

$$DV = \frac{PV_{gr}}{VV_{cm^3}} = \frac{120,88}{93,83} = 1,29 \text{ gr/ cm}^3$$

DENSIDAD SECO AL AIRE (DSA)

$$DSA = \frac{PSA_{gr}}{VSA_{cm^3}} = \frac{86}{90,38} = 0,95 \text{ gr/ cm}^3$$

DENSIDAD SECO AL HORNO (DSH)

$$DSH = \frac{PSH_{gr}}{VSH_{cm^3}} = \frac{75,54}{87,53} = 0,86 \text{ gr/ cm}^3$$

DENSIDAD BÁSICA (DB)

$$DB = \frac{PSH_{gr}}{VV_{cm^3}} = \frac{75,54}{93,83} = 0,81 \text{ gr/ cm}^3$$

4.4.1. Contenido de humedad.

De acuerdo a la norma COPANT 460 se determina el contenido de humedad para cada ensayo con la fórmula:

$$C. H. = \frac{PV - PSH}{PSH} * 100$$

$$C. H. = \frac{120,88 - 75,54}{75,54} * 100 = 60,02 \text{ gr/cm}^3$$

C.H.V.= Contenido de humedad (%)

P.V. = Peso de la probeta en estado verde (gr)

P.S.H. = Peso de la probeta en estado seco al horno (%)

CUADRO 6: Contenido de humedad.

Árbol	Probeta	PV	PSH
		gr.	gr.
I	1	121,67	83,59
II	1	117,35	76,86
III	1	119,64	78,76
IV	1	120,03	76,09
V	1	122,12	85,3

El ejemplo es calculado con la probeta 1 de cada árbol.

CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

$$CH = \frac{PV - P_0}{P_0} * 100 = \frac{121,67 - 83,59}{83,59} * 100 = 45,56 \text{ gr/ cm}^3$$

4.4.2. Contracción.

La norma COPANT 462 establece el procedimiento para determinar las contracciones radial, tangencial y volumétrica. La contracción es una reducción dimensional que sufre la probeta, desde la condición verde hasta la seca al horno, denominada contracción total y desde la dimensión verde hasta la seca al aire, denominándose contracción seca al aire.

CUADRO 7: Contracciones, tangencial normal, radial normal, y volumétrica normal.

Árbol	Probeta	DRV	DTV	VV	DRSA	DTSA	VSA
		mm	mm	cm ³	mm	mm	cm ³
I	6	30,49	30,37	93,23	30,17	29,89	87,23
II	6	30,07	30,01	92,49	29,91	28,14	90,04
III	6	30,83	30,14	95,01	30,46	29,64	89,04
IV	6	30,74	30,55	93,62	30,26	30,10	90,53
V	6	30,04	30,63	94,78	30,31	30,18	92,17

El ejemplo es calculado con la probeta 6 de cada árbol.

Contracción: Tangencial normal, radial normal y volumétrica normal.

DRV = Dimensión radial verde.

DRSA = Dimensión radial seco al aire.

VV = Volumen verde.

DTV = Dimensión tangencial verde.

DTSA = Dimensión tangencial seco al aire.

VSA = Volumen seco al aire.

CONTRACCIÓN RADIAL NORMAL (CRN)

$$CRN = \frac{DRV - DRSA}{DRV} * 100 = \frac{30,49 - 30,17}{30,49} * 100 = 1,05 \%$$

Un resultado de 1,05% de contracción radial normal significa que el diámetro de la pieza de madera al secarse se redujo en un 1,05% al secarse.

CONTRACCIÓN TANGENCIAL NORMAL (CTN)

$$CTN = \frac{DTV - DTSA}{DTV} * 100 = \frac{30,37 - 29,89}{30,37} * 100 = 1,58\%$$

Un resultado de 1,58% de contracción tangencial normal significa que el diámetro de la pieza de madera se redujo en un 1,58% en la dirección tangencial al secarse.

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA NORMAL (CVN)

$$CVN = \frac{VV - VSA}{VV} * 100 = \frac{93,23 - 87,23}{93,23} * 100 = 6,44 \%$$

Un resultado de 6,44% de contracción volumétrica normal significa que la pieza de madera se redujo en un 6,44% de su volumen original al secarse.

CUADRO 8: Contracciones secas al horno, tangencial total, radial total, y volumétrica total.

Árbol	N° Probeta	DTV	DT anh	DRV	DR anh	VV	V anh
I	6	30,37	29,23	30,49	29,84	93,23	86,96
II	6	30,01	28,89	30,07	30,12	92,49	86,91
III	6	30,14	28,94	30,83	30,1	95,01	87,28
IV	6	30,55	29,66	30,74	29,83	93,62	87,95
V	6	30,63	29,47	30,04	29,90	94,78	88,69

El ejemplo es calculado con la probeta 6 de cada árbol.

Donde:

C.R.T. = Contracción radial total (%)

D.R.V. = Dimensión radial de la probeta en estado verde (mm)

D.R.S.H. = Dimensión radial de la probeta en estado seco al horno (mm).

C.T.T. = Contracción tangencial total.

D.T.V. = Dimensión tangencial de la probeta en estado verde.

D.T.S.H. = Dimensión tangencial de la probeta en estado seco Al horno (mm).

C.V.T. = Contracción volumétrica total (%).

V.V. = Volumen de la probeta en estado verde (cm³).

V.S.H. = Volumen de la probeta seco al horno (cm³).

CONTRACCIÓN TANGENCIAL TOTAL (CTT)

$$CTT = \frac{DTV - DTSH}{DTV} * 100 = \frac{30,37 - 29,23}{30,37} * 100 = 3,52 \%$$

La contracción tangencial total (3,52%) es mayor que la contracción tangencial normal (1,58%) en este caso. Esto se debe a que la contracción tangencial total incluye tanto la contracción tangencial normal como la contracción tangencial adicional causada por el secado.

CONTRACCIÓN RADIAL TOTAL (CRT)

$$CRT = \frac{DRV - DRSH}{DRV} * 100 = \frac{30,49 - 29,84}{30,49} * 100 = 2,13\%$$

La contracción radial total (2,13%) es ligeramente mayor que la contracción radial normal (1,05%) en este caso. Esto se debe a que la contracción radial total incluye tanto la contracción radial normal como la contracción radial adicional causada por el secado.

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA TOTAL (CVT)

$$CVT = \frac{VV - VSH}{VV} * 100 = \frac{93,23 - 86,96}{93,23} * 100 = 6,73 \%$$

Es importante destacar que la contracción volumétrica total (6,73%) es ligeramente mayor que la contracción volumétrica normal (6,44%) en este caso. Esto se debe a que la contracción

volumétrica total incluye tanto la contracción volumétrica normal como la contracción volumétrica adicional causada por el secado.

4.4.3. Tasa de estabilidad.

Es el cociente que relaciona la contracción tangencial y la contracción radial. Es un valor adimensional que expresa la estabilidad de la madera durante el proceso de secado.

CUADRO 9: Tasa de estabilidad (seca al aire y seca al horno o anhidro)

Árbol	N° Probeta	βtsa	βrsa	βtt	βrt
I	6	1,58	1,96	3,75	2,13
II	6	6,23	6,41		3,16
III	6	1,67	3,85	3,98	2,37
IV	6	1,47	2,08	2,91	2,96
V	6	1,47	0,72	3,78	1,46

Donde:

βtsa = Contracción tangencial seco al aire %.

βrsa = Contracción radial seco al aire %.

Ts = Tasa de estabilidad anhidro o total %.

βtt = Contracción tangencial anhidro %.

βrt = Contracción radial anhidro o total %.

TASA DE ESTABILIDAD SECA AL AIRE %.

$$TSA = \frac{\beta_{tsa}}{\beta_{rsa}} = \frac{1,58}{1,96} = 0,81 \%$$

Un resultado de 0,81% de TESA significa que la pieza de madera experimentó una reducción de 0,81% en su tamaño o forma después de ser secada al aire.

TASA DE ESTABILIDAD ANHIDRO O TOTAL %

$$TSA = \frac{\beta_{tsa}}{\beta_{rsa}} = \frac{3,75}{2,13} = 1,76 \%$$

Un resultado de 1,76% de TSA significa que la pieza de madera experimentó una reducción de 1,76% en su tamaño o forma después de ser secada completamente.

En este caso, la TSA de 1,76% se considera moderada estabilidad.

4.4.4. Humedad máxima.

Es la medición indirecta de la cantidad de agua que contiene la madera (agua libre y agua de impregnación), que puede albergar la madera cuando se encuentra completamente saturada. La humedad máxima es expresada porcentualmente (%) y con su valor podemos deducir el peso específico máximo en estado verde de la madera árbol recién apeado.

CUADRO 10: Humedad máxima

Árbol	N° Probeta	$f\sigma$	Peso específico real de la madera (gr/cm ³)
I	6	0,91	1,5
II	6	0,89	1,5
III	6	0,91	1,5

IV	6	0,90	1,5
V	6	0,91	1,5

El ejemplo es calculado con la probeta 6 de cada árbol.

Donde:

CHM = Contenido de humedad máximo.

Do = Peso específico aparente anhidro (gr/cm³).

fσ = Peso específico anhidro = 1,56 aprox. 1.5 (gr/cm³).

0.28 = Constante.

$$CHM == \left(\frac{1}{f\sigma} - \frac{1}{1.5} \right) + 0,28) * 100$$

$$CHM == \left(\frac{1}{0,91} - \frac{1}{1.5} \right) + 0,28) * 100 = 71,22 \%$$

Un resultado de 71,22% de CHM significa que la pieza de madera contiene un 71,22% de humedad en relación con su peso seco.

En este caso, la CHM de 71,22% se considera madera verde, con un alto contenido de humedad.

4.4.5. Porosidad.

La obtención de la porosidad es una propiedad física importante para la determinación del contenido de humedad máximo de la madera, se determina mediante la fórmula que establece

la relación de sustracción entre el volumen anhidro igual a 1 cm y el volumen radial del mismo.

CUADRO 11: Porosidad

Árbol	N° Probeta	Pea	Peso específico real (gr/cm ³)
I	6	0,91	1,5
II	6	0,89	1,5
III	6	0,91	1,5
IV	6	0,90	1,5
V	6	0,91	1,5

El ejemplo es calculado con la probeta 6 de cada árbol.

Donde

P = Porosidad de la madera.

Pea = Peso específico anhidro (gr/cm³).

1.5 = Constante.

$$P = \left(1 - \frac{Pea}{1.5}\right) \times 100x = \%$$

$$P = \left(1 - \frac{0,91}{1.5}\right) \times 100x = 39 \%$$

Un resultado de 39% de porosidad significa que el 39% del volumen de la madera está compuesto por espacios vacíos, como poros y cavidades.

En este caso, la porosidad de 39% se considera moderada.

4.4.6. Peso específico aparente al 12 %

CUADRO 12: Peso específico al 12 % CH

Árbol	Probeta	Do	Constante
I	6	0,91	0,84
II	6	0,89	0,84
III	6	0,91	0,84
IV	6	0,90	0,84
V	6	0,91	0,84
\bar{x}		0,90	0,84

El ejemplo es calculado con la probeta 6 de cada árbol.

Donde:

D 12% =Peso específico aparente al 12 % de contenido de humedad

Do = Peso específico anhidro en (gr/cm³)

0.84 =Constante

$$D\ 12\% = D_o * \frac{1 + 0.12}{1 + 0.84 * D_o * 0.12}$$

$$D\ 12\% = 0,90 * \frac{1 + 0.12}{1 + 0.84 * 0,90 * 0.12} = 0,92\%$$

Un resultado de 0,92 de PEA al 12% de contenido de humedad significa que la pieza de madera tiene un peso específico aparente de 0,92 g/cm³, considerando que contiene un 12% de humedad.

En este caso, el PEA de 0,92 g/cm³ se considera alta densidad.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS ESTADÍSTICO

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

Para realizar el análisis estadístico, se tomó en cuenta las siguientes condiciones indispensables para la ejecución de este análisis:

- Los árboles del área y cuya madera no presenten defectos y tengan la misma posibilidad de entrar en el muestreo.
- La recolección de las probetas fue realizada según el muestreo al azar.

El análisis estadístico, se realizó de acuerdo a la norma COPANT 30:1-012 que establece el procedimiento y la presentación de los resultados para poder determinar las propiedades de la madera.

Los datos para el análisis estadístico son:

Número de árboles ensayados	= 5
Número de probetas por árbol	= 1 = 6 Número total de probetas
por ensayo	= N = 30

Donde:

$$N = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \dots \dots \dots L_k = \sum_{j=1}^k l_j$$

Los datos anteriores permiten calcular los siguientes valores: Valor promedio (\bar{x}) de los valores individuales por árbol.

$$X = \frac{1}{l} * (x_1 + x_2 + x_3 \dots \dots x_l) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l x_j$$

(x) Es la variable que indica cada uno de los valores de los resultados obtenidos en cada probeta.

5.1. Estimación de la varianza.

La estimación de las varianzas, se determina en base a las relaciones indicadas más adelante para el cálculo de la varianza de valores individuales, estimación de la varianza promedio y la varianza tota (s_1^2 ; s_2^2 ; s_T^2).

CUADRO 13: Determinación de las variaciones(s_1^2 ; s_2^2 ; s_T^2)

	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS DE LA DESVIACIÓN	VARIANZA
Entre los grupos	$q_1 = q - 1$	$q_1 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{q}$	$s_1^2 = \frac{q_1}{q - 1}$
Dentro de los grupos	$q_2 = q - q_1$	$q_2 = \sum x_{ij}^2 - \frac{(\sum x_{ij})^2}{q}$	$s_2^2 = \frac{q_2}{q - q_1}$
Total	$q_1 + q_2 = q - 1$	$q_1 + q_2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{q}$	$s_T^2 = \frac{q_1 + q_2}{q - 1}$

Donde:

$$n_1 = k - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$n_2 = N - k = 30 - 5 = 25$$

$$n_1 + n_2 = N - 1 = 30 - 1 = 29$$

$$\bar{x} = 52,93$$

Los números romanos son agrupadores de datos y/o fórmulas; para su desarrollo se presenta el siguiente ejemplo:

Donde:

N = 30 (número de probetas por ensayos).

k = 5 (número de árboles).

l = 6 (número de probetas dentro de un árbol por ensayo).

$$I = \frac{1}{N} * \left(\sum_{j=1}^N x_j \right)^2 = 84054,96$$

$$II = 1 * \sum_{j=1}^K X_j^2 = \sum_{j=1}^K \frac{1}{l} \left(\sum_{i=1}^l x_i \right)^2 = 84077,77$$

$$III = \sum_{j=1}^N x_i^2 = 84963,76$$

$$s_1^2 = \frac{II - I}{K - 1} = 4,56$$

$$s_2^2 = \frac{III - II}{N - K} = 36,92$$

$$s_T^2 = \frac{III - I}{N - 1} = 31,34$$

s_1^2 = Variación de los valores individuales entre los árboles.

s_2^2 = Variación promedio.

s_T^2 = Variación de todos los valores individuales al rededor del promedio total.

5.2. Determinación del coeficiente de variación

Se desarrolla primeramente el cálculo de la desviación típica, que es la raíz cuadrada de los valores de variación, obteniéndose:

$$S_1 = \sqrt{4,56} \pm 4,33 = 2,14$$

$$S_2 = \sqrt{36,92 \pm 6,09} = 6,08$$

$$S_T = \sqrt{31,34 \pm 5,59} = 5,60$$

Coefficiente de variación (CV_1) para la varianza promedio de los valores individuales entre (k) árboles se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CV_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} * 100 = \frac{2,14}{52,93} * 100 = 4,04$$

Coefficiente de variación (CV_2) para la varianza promedio de los valores de las varianzas dentro de los (k) árboles se determina como sigue:

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{X}} * 100 = \frac{6,08}{52,93} * 100 = 11,48$$

El coeficiente de variación total (CV_T) para la varianza de los valores individuales

(xi) Alrededor del promedio total (\bar{X}) se obtiene según:

$$CV_T = \frac{S_T}{\bar{X}} * 100 = \frac{5,60}{52,93} * 100 = 10,58$$

5.3. Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio total.

En esta fórmula “t” es un factor que depende de (k-1) y que tiene los siguientes valores para una seguridad estadística de 95%. como demuestra la siguiente tabla:

VALORES ESTADÍSTICOS

K -1	2	3	4	5	7	9	14	19	α
T(k-1)	4,3	3,18	2,78	2,57	2,37	2,26	2,15	2,09	1,96

$$q = \pm (k-1) \frac{s_1}{\sqrt{N}} = \pm 2,20$$

$$p = \frac{q}{\bar{x}} * 100 = 4,16 \%$$

CUADRO 14: Propiedades físicas: Análisis estadístico: Contenido de humedad en verde (VHV) %

PROBETAS	ÁRBOLES ENSAYADOS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
1	48,87	50,13	51,90	57,75	43,17	
2	48,83	50,76	54,97	51,09	58,01	
3	45,56	52,68	42,94	55,06	53,72	
4	64,50	60,49	60,30	57,85	57,30	
5	57,55	50,82	49,47	49,70	58,64	
6	51,56	60,27	52,68	48,96	42,46	
$\sum_{i=1}^l xi$	316,87	325,15	312,26	320,40	313,29	1587,97
$j\bar{X}$	52,81	54,19	52,04	53,40	52,21	264,66
$\sum_{i=1}^l xi^2$	16978,8	17739,0	16417,9	17189,6	16638,5	84963,76
$\frac{1}{l} = \left(\sum_{i=1}^l xi \right)^2$	16734,2	17620,5	16251,3	17109,4	16358,4	84077,77

Datos requeridos para el análisis estadístico:

Nº árboles ensayados (K) = 5

Nº probetas por árbol (l) = 6

Nº total de probetas por especie (N) = 30

Promedio total (X) = 52,93

GRADOS DE LIBERTAD			VARIANZA	DESV. TÍPICA
$n_1 = k - 1 = 4$	$I = 84055,02$	$A_1 = II - I = 908,74$	$S_{21} = 18,54$	$S_1 = 4,33$
$n_2 = N - k = 25$	$II = 84073,77$	$A_2 = III - II = 889,99$	$S_{22} = 37,08$	$S_2 = 6,09$
$n_3 = n_1 + n_2 = 29$	$III = 84963,76$	$A_3 = A_1 + A_2 = III - I = 908,74$	$S_{2T} = 31,34$	$ST = 5,59$
COEFICIENTE DE VARIACIÓN %			INTÉRVALO DE CONFIANZA	
$CVI = 8,18$			$q = 2,20$	
$CV_2 = 11,51$			$p = 4,16\%$	
$CVT = 10,56$			$\bar{X} \pm q = 52,93 \pm 2,20$	
			$\bar{X} \pm p = 52,93 \pm 4,16$	

5.4. RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ESPECIE

MORA. (*Maclura tinctoria* L.)

Una vez concluido con los ensayos de las propiedades físicas y obtenidos los valores correspondientes de cada etapa, se procedió a realizar los diferentes cálculos físicos y el posterior análisis estadístico según lo estipulado por las normas COPANT MADERAS 30:0.12, en lo referente a la obtención de los resultados individuales.

- **Contenido de humedad**

Se determinó en tanto por ciento de peso seco en estufa con valores promedios de:

Contenido de humedad en estado verde: 52,93 %

Contenido de humedad en estado seco al aire: 10.19 %

- **Peso específico aparente**

La determinación del peso específico aparente es considerada como una de las propiedades más importante en la madera, puesto que de él dependen directamente otras propiedades físicas y mecánicas.

Los resultados obtenidos en sus tres estados (verde, seco al aire y anhidro), es determinado mediante la relación entre el cociente del peso sobre el volumen de las probetas, obteniéndose resultados promedios en sus tres estados, los mismos que son:

- Densidad en verde: 1,29 gr/cm³
- Densidad seca al aire: 0,95 gr/cm³
- Densidad seca al horno o anhidro: 0,86 gr/cm³

Densidad en verde: En el caso específico de una densidad en verde de 1,29 g/cm³, esto sugiere que la madera tiene una densidad moderadamente alta, lo que puede ser adecuado para una variedad de aplicaciones.

Densidad seca al aire: La densidad seca al aire de 0,95 g/cm³ se refiere a la densidad de la madera después de que ha sido secada al aire, es decir, cuando

la humedad ha sido reducida a un nivel mínimo, típicamente entre 12% y 15% de humedad con una densidad alta 0,95 gr/cm³

Densidad seca al horno o anhidro: La densidad seca al horno o anhidro de 0,86 g/cm³ se refiere a la densidad de la madera después de que ha sido sometida a un proceso de secado en un horno o estufa se denomina una madera pesada.

5.4.1. Peso específico básico.

Conjuntamente la densidad ajustada al 12%, el peso específico básico, son variables relacionados con la resistencia mecánica de la madera, además de coadyuvar a dar los posibles usos de la madera.

- Peso específico básico: 0,81 (gr/cm³)
- Densidad ajustada al 12%: 0,93 (gr/cm³)

Peso específico básico: Un peso específico básico de 0,81 g/cm³ indica que la madera tiene una densidad moderadamente alta, lo que sugiere que:

- La madera es más pesada y densa.
- Tiene una mayor resistencia y dureza.
- Es más estable y menos propensa a deformarse.

Densidad ajustada al 12%: Un valor de 0,92 g/cm³ indica que la madera tiene una densidad relativamente alta cuando su contenido de humedad es del 12%. Esto sugiere que la madera es pesada y densa.

5.4.2. Contracciones.

La contracción tiene su importancia en los procesos de absorción, si una pieza de madera seca se pone en contacto con vapor de agua, absorbe ese vapor hasta que se produzca un equilibrio, dicho fenómeno se llama absorción, el cual es responsable de las modificaciones que se presentan según las diferentes dimensiones lineales y volumétricas de la madera, los resultados de los diferentes estados se presentan en el siguiente cuadro:

CUADRO 15: Contracciones tangencial, radial y volumétrica

ESTADO	C.T %	C.R. %	C.V. %
Verde a seco al aire	1,60	1,29	3,23
De verde a anhidro	3,75	2,75	6,32
De verde a C.H. 12%	0,67	0,80	2,71

Fuente: (Elaboración propia, 2022)

5.4.3. Tasa de estabilidad.

La determinación de la estabilidad dimensional se realiza mediante el cociente de la contracción tangencial y la radial, es un valor adimensional que sirve para indicar el comportamiento de la madera al secado y a otros diversos usos.

Los resultados promedios son los siguientes:

ESTADO	TASA DE ESTABILIDAD
Seco al aire	1,29
Anhidro	1,69

Una tasa de estabilidad seco al aire de 1,29 indica que la madera tiene una estabilidad dimensional moderada. Esto significa que la madera puede experimentar una contracción moderada en dirección radial y tangencial cuando se seca al aire.

Una tasa de estabilidad anhidro de 1,69 indica que la madera tiene una clasificación estable.

5.4.4. Porosidad.

La obtención de la porosidad es una propiedad física importante para la determinación del contenido de humedad máximo de la madera, se determina mediante la fórmula que establece la relación de sustracción entre el volumen anhidro igual a 1 cm y el volumen real del mismo.

Obteniéndose un promedio de:

Porosidad = 39 %

En este caso, una porosidad del 39,68% indica que la madera tiene una proporción moderada de espacios vacíos. Esto puede influir en sus propiedades física.

5.5.5. Máximo contenido de humedad.

Es la humedad que tiene un árbol recién apeado, cuyo valor promedio es:

Contenido de humedad máximo = 129,50 %

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

Concluida con la determinación de las propiedades físicas de la **MORA** (*Maclura tinctoria L.*) se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones de acuerdo a las estipulaciones de la clave de clasificación de Maderas (Ver s4).

6.1. Peso específico.

- Según su peso específico básico promedio es de 0,85 (gr/cm³), que es un indicador de calidad de la madera, se clasifica como una madera **pesada**.
- De acuerdo al peso específico ajustada al 12% de contenido de humedad de 0,93 (gr/cm³), se clasifica como **alto**.
- El peso específico anhidro de 0,90 (gr/cm³), se clasifica como una madera **muy pesada**.

6.2. Contracción.

- Según el valor que presenta la contracción volumétrica de 2,71 %, se clasifica como madera **muy bajo**.

6.3. Tasa de estabilidad.

- Por la tasa de estabilidad promedio de 1,69 la madera de la Mora (*Maclura tinctoria L.*) se clasifica como una madera **estable**.

6.4. Humedad máxima.

- Según el valor que presenta la humedad máxima de 129,50 %, se clasifica como madera **dura**.

6.5. Porosidad.

- Según la porosidad promedio de 39,07 %, la madera de la Mora (*Maclura Tinctoria L.*) se clasifica como una madera de textura media.

Los resultados promedios obtenidos para las propiedades físicas de la madera de la Quina blanca indican que es una especie de **madera pesada** de acuerdo a la Clave de Clasificación de Maderas.

6.6. RECOMENDACIONES:

La determinación de los posibles usos de la madera de la Mora (*Maclura Tinctoria L.*), según las propiedades físicas, están sujetos a los valores obtenidos en los diferentes ensayos y de acuerdo a los requisitos que deben cumplir las maderas basándose en la clasificación de las especies según Hannes Hoheisel (1972). Me permitieron hacer las siguientes recomendaciones.

- Recomendar el uso adecuado de la madera de la especie Mora para obras de construcciones pesadas como: puentes, graderías, parquet industrial, chapas decorativas, pisos, recubrimientos de exteriores, vigas y columnas.
- La realización de estudios tecnológicos complementarios como propiedades mecánicas, uniones estructurales, secado, preservación e impregnación.
- Recomendar a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” socialice y publique los resultados del presente estudio a las empresas madereras, aserraderos, carpinterías, empresas constructoras y a la sociedad en general.
- Se recomienda realizar una coordinación con las diferentes instituciones afines, para lograr una planificación a nivel regional y nacional para llevar adelante más investigaciones.
- Se recomienda implementar esta especie en el laborío para que los estudiantes lo conozcan y profundicen más a fondo los estudios tanto en trabajabilidad, secado, impregnación y más.
- Se recomienda contar con nuevos instrumentos adecuados y precisos en laboratorio para la medición, observación de los trabajos que se realizarán.