

Propiedades Físicas Y Mecánicas De Tres Especies Forestales: *Piptocoma Discolor* (Kunth.) Pruski (Pigüe), *Iriartea Deltoidea* Ruiz & Pav. (Chonta) Y *Pouteria Glomerata* (Intachi)

Elizabeth Morejón, (Ing. Forestal)
Ximena Lara, (Ing. Forestal)
Erika Cabezas, (Ing. Forestal)
Danilo Román (Ing. Agrónomo)
Eduardo Salazar (Ing. Forestal)
Escuela Superior Politécnica De Chimborazo

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n24p295 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n24p295](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n24p295)

Abstract

This research was developed to determine the physical and mechanical properties of three forestry species such as: *Piptocoma discolor* (Kunth) Prusky (Pigüe), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (Chonta) and *Pouteria glomerata* (Intachi); thus giving the suitable use to each specie according to their response to the tests. The tests were done at ESPOCH laboratories, using the lab from the irrigation experimental center of the Natural resources faculty for checking the physical properties of humidity and density. The lab from Material resistance of the mechanical Faculty was used to check the mechanical properties. This study is quite important due to the lack of information researched on all the specie properties. One example would be the Pigüe case, which has been used for fruit boxing, the same that presents better qualities than Intachi and it can be perfectly used in building poles and pillars even at decks because of its light, soft and easy-to-cut wood. The Intachi is an excellent kind of Wood used for floors and the Chonta used for bridges and outsides because of its hard and strong wood.

Keywords: Physical properties – forestry species – mechanical properties – wood technology

Resumen

Esta investigación se la realizó con el propósito de: determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (Pigüe), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (Chonta) y

Pouteria glomerata (Intachi); y de esta manera dar el uso más apropiado a cada especie de acuerdo a como respondan a cada uno de los ensayos a los que les ha sometido. Es importante mencionar que los ensayos se los realizó en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, así lo que corresponde a contenido de humedad y densidad que son propiedades físicas se las hizo en el laboratorio del Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales y los ensayos restantes pertenecientes a las propiedades mecánicas, en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica. Este trabajo es de suma importancia debido a la poca investigación que existe en lo que se refiere a las propiedades que posee cada especie así en esta ocasión podemos mencionar el caso del Pigüe que únicamente se lo ha venido utilizando para cajonería de frutas y que gracias a este estudio podemos ver que presenta mejores cualidades que el Intachi y perfectamente se lo puede usar en construcciones como postes o pilares incluso en las cubiertas por ser una madera liviana, suave al momento de cortar y de fácil trabajabilidad, el Intachi es una madera excelente para pisos y la chonta para puentes y exteriores por ser una madera dura y resistente.

Palabras clave: Propiedades Físicas - Especies Forestales - Propiedades Mecánicas – Tecnología De La Madera

Introduction

En nuestro país las especies maderables de manera general no son usadas adecuadamente para sus diferentes requerimientos, sino que son asignados al azar, es decir, sin previo conocimiento de su uso potencial; y en otros casos las especies son desechadas y marginadas, no solo por finqueros, sino también por mercados locales y nacionales. (Paguay, 2013). La industria forestal nacional requiere contar con un conocimiento tecnológico suficiente de las especies forestales especialmente especies nativas y de esta manera aprovechar de mejor manera el recurso maderable.

Las propiedades físicas y mecánicas, entre otras, han dado a la madera un campo de aplicación muy variado, especialmente como material de la construcción. La principal característica es su diferenciación individual, que hace que cada especie tenga un comportamiento distinto, en función de la cual tendrá diferentes usos. Resulta necesario conocer estas características para poder asegurar la resistencia que cada especie tendrá a las solicitaciones a las que será sometida. La clasificación físico-mecánica de las maderas es necesaria para el eficaz empleo y aprovechamiento de estas, siendo clasificadas previamente en grupos homogéneos en cuanto a calidad y resistencia (Mueres, 2015).

Los usos y aplicaciones de una madera dependen en gran medida de sus propiedades físicas como contenido de humedad, densidad, contracción o

hinchamiento, punto de saturación de la fibra entre otras, de las que en cada caso particular tiene exigencias específicas (Chave, 2006).

Motivo por el cual la presente investigación pretende reunir los elementos necesarios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada una de las especies *Piptocoma discolor* (Kunth.) Pruski (PIGÜE), *Iriartea deltoidea* Ruiz & Pav. (CHONTA) y *Pouteria glomerata* (INTACHI). Contribuyendo a la investigación y conocimiento tecnológico de los especímenes forestales del Ecuador, de esta manera los propietarios o la industria podrían dar un mejor uso a la madera de acuerdo a las propiedades que presenten cada una de ellas.

Texto Principal

1. Comparar Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De Tres Especies En Estado Verde

1.1. Selección De Los Árboles De Cada Especie En Estudio

Para la selección de árboles se toma en cuenta a los mejores especímenes el cual cumplen con características especiales como son: fuste recto, DAP sin nudos ni ramificaciones, además libre de plagas y enfermedades para las tres especies en estudio son: Chonta, Pigüe e Intachi.

a. Preparación de las trozas

- Se procedió a la eliminación de todas las ramas (desrame) del fuste, desde la base de cada uno de los individuos hasta el ápice, en el caso de las ramas más vigorosas se usó la motosierra y las restantes se cortaron con una segueta o machete respectivamente.
- Las trozas se obtuvieron a partir de la base del fuste con una longitud de 1.50 m cada una.

Tabla 1. Número de muestras a recolectar.

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Número de muestras	Longitud de la troza (m)	Fecha de recolección
Chonta	25	22	6	1,50	04/06/2016
Pigüe	68	17	3	1,50	04/06/2016
Intachi	45	12	3	1,50	04/06/2016

Elaborado por: Morejón E, 2017

- La codificación de las trozas, consistió en marcar cada una, asignando un código para cada especie: Chonta (C1_b, C2_b, C3_m, C4_m, C5_a, C6_a), Pigüe (P1_b, P2_m, P3_a) e Intachi (I1_b, I2_m, I3_a). se utilizó tres trozas de acuerdo a la especificación de las normas (ASTM-D143/94, 2000) que terminan obtener las muestras de la base, medio y ápice del árbol, excepto para la chonta que por ser una palmera que se obtuvo 6 trozas porque esta especie solo se la puede aprovechar la parte externa, el corazón es esponjoso.

b. Preparación de las probetas

- Previo a la preparación de las 71 probetas por especie se hicieron los listones de acuerdo a las medidas requeridas por las Normas de la Sociedad Americana para pruebas y materiales (ASTM-D143/94, 2000), que determinan un método para la preparación de muestras de madera aserrada, el cual consiste en realizar cortes sistemáticos en la base del fuste o tronco para obtener piezas de distintas medidas.
- El número de listones que se usaron, se determinó de acuerdo al número de probetas demandada, tanto para los que corresponden a las propiedades físicas, como para las mecánicas, de donde una tercera parte se lo utilizó para los ensayos en verde y las dos terceras partes restantes se las almacenó en un lugar seco y ventilado con buenas corrientes de aire durante 280 días, para los posteriores ensayos seco al aire y seco al horno respectivamente. Las dimensiones de las probetas se las determinó de acuerdo a las normas DIM o ASTM utilizadas para cada una de las pruebas.

c. Determinación de las propiedades físicas: contenido de humedad, densidad

Para determinar las propiedades físicas como es la densidad y el contenido de humedad, se realizaron ensayos en tres estados: verde, seco al horno, seco al aire; de acuerdo a lo que determina la norma (COPANT-461, 2000).

Contenido de humedad

Las probetas generadas se las midió con un calibrador digital primeramente en estado verde en donde su contenido de humedad debió superar el 30%, bajo las mismas condiciones de humedad, se procedió a tomar los datos del peso de cada una de las probetas para lo cual se utilizó una balanza digital con precisión de 0.01g, luego se deshidrató las probetas en una estufa con una temperatura inicial de 35°C la misma que fue elevada cada dos horas a 40, 60, 80, 90 hasta 103°C por 24 horas, finalmente se disecó, midió y pesó nuevamente para obtener los resultados.

El contenido de humedad inicial se determinó de acuerdo a los datos obtenidos al pesar las muestras en estado verde y seco al horno o en la estufa.

Densidad

Para determinar la densidad se usará la norma DIM 52182, bajo los siguientes parámetros:

- ✓ Densidad en verde
- ✓ Densidad seca al aire

- ✓ Densidad seca al horno
- ✓ Densidad básica

Para determinar los cuatro tipos de densidad como se mencionó anteriormente se utilizaron las probetas del ensayo de contenido de humedad, la masa de las probetas se obtuvo utilizando la balanza digital de 0.01 gr de precisión y el volumen midiendo las mismas con un calibrador y la aplicación de la formula Smalian.

Usando los datos de dimensiones lineales por posición de trabajo, en los tres estados verde, seco al horno y seco al aire, con los mismos datos de pesos y volúmenes obtenidos en estado verde, seco al aire y seco al horno, del contenido de humedad se determinó la densidad de las especies, bajo las condiciones anotadas anteriormente.

d. Determinación de las propiedades mecánicas: flexión estática, cizallamiento o corte, resistencia a la compresión paralela, resistencia a la compresión perpendicular, tracción y dureza

Para realizar las pruebas mecánicas, se siguieron las normas (ASTM-D143/94, 2000) las que se debió tomar en cuenta para realizar los ensayos en madera los mismos se establecieron de acuerdo a los tres estados de contenido de humedad: verde en donde las probetas tuvieron un contenido de humedad superior al 30%, estado seco al aire que presentó un contenido de humedad mayor al 12%, y seco al horno donde las probetas debían tener un contenido de humedad del 12%.

Los listones que se usaron para los ensayos en estado seco al aire y seco al horno se colocaron bajo sombra, pero con corrientes de aire circulantes por un lapso de 6 meses aproximadamente. Para los ensayos en estado seco al horno se los sometió a una temperatura de 20°C inicial y constante por varios días de acuerdo al requerimiento de cada especie y en donde se tomarán los datos cada 24 horas hasta que presenten un 12% de contenido de humedad.

Se realizaron los ensayos de: flexión estática, cizallamiento o corte, resistencia a la compresión paralela, resistencia a la compresión perpendicular, tracción y dureza en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se trabajó según lo que establece la norma (ASTM-D143/94, 2000) (American Society for Testing and Materials), y fueron realizados en la maquina universal, conectada a un gabinete de trabajo y control, que permite apreciar diferentes cargas de 100.000 kg., dividida en escalas de: 2.000, 10.000, 50.000 y 100.000 kg respectivamente, es importante destacar que estos ensayos son de tipo destructivo.

Posteriormente se prepararon las probetas siguiendo las especificaciones de las normas (ASTM-D143/94, 2000) que se presentan en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones de las probetas para pruebas mecánicas.

ENSAYO	DIMENSIONES DE PROBETAS (cm)	ESPECIES		
		PIGÜE	INTACHI	CHONTA
Flexión estática	2.5x2.5x41	P3	I3	C3
Cizallamiento o corte	1.9x20	P4	I4	C4
Resistencia a la compresión paralela	5x5x20	P5	I5	C5
Resistencia a la compresión perpendicular	5x5x15	P6	I6	C6
Tracción	2.5x2.5x45	P7	I7	C7
Dureza.	5x5x5	P8	I8	C8

Fuente: (ASTM-D143/94, 2000)

- **Flexión estática**

Los ensayos fueron realizados según la norma ASTM D 143/ 45-252, para los tres tipos de estado de la madera verde, seca al aire y seca al horno, que según esta norma establece calcular el módulo de ruptura, momento de inercia y el momento flector máximo.

Para esta prueba se utilizaron probetas de 2.5x2.5x41 cm, en la maquina universal, se ubicó la cama de flexión y el mandril de aplicación de carga. Se midió el largo exacto de la probeta seguidamente se marcó en la mitad y se colocó en la cama de flexión, la misma que está conformada en sus extremos por dos rodillos con una distancia de 11.8cm, la probeta ya señalada fue situada en la mitad de la luz, para que la carga sea aplicada en el centro de forma continua lenta y gradual hasta que se produzca la fisura en la probeta.

Con los datos obtenidos en el ensayo se procedió a realizar los cálculos con las siguientes formulas:

$$M_{max}=(Q_x \times L)/4 \quad \text{(Momento Flector Máximo)}$$

$$I=((ax)^2 \times bx^2)/12 \quad \text{(Momento de Inercia)}$$

$$C=((bx))/2$$

$$\sigma_f=(M \times C)/I \quad \text{(Esfuerzo)}$$

Donde:

Qx: Carga promedio máxima aplicada, kgf

ax: Ancho promedio, cm

bx: Espesor promedio, cm

L: luz, cm

Mmax: Momento flector máximo, kg, cm.

I: Momento de inercia, cm⁴.

σf: Esfuerzo flector o módulo de ruptura, kgf/cm²

• **Cizallamiento o corte**

Las probetas que se usaron en este ensayo son de 1.90 cm de diámetro y 20 cm de longitud medidas tomadas de acuerdo a las dimensiones de la cámara de corte y el punzón.

Una vez tomados los datos en el ensayo, se procedió a realizar el cálculo del esfuerzo por cizallamiento que se produce al momento del corte, usando las siguientes formulas:

$$\sigma = Q/A \quad \text{(Esfuerzo)}$$

$$A = (\pi \times d^2) / 4 \quad \text{(Área resistente)}$$

Donde:

Q: Carga soportada por la probeta, kg

A: Área resistente, cm²

d: Diámetro de la probeta, cm

σ: Esfuerzo de cizallamiento, Kg/ cm²

• **Resistencia a la compresión paralela**

Utilizando las probetas de 5x5x20 cm en estado verde, seca al aire y seca al horno que estipula la norma ASTM D-43, se adecuó previamente la maquina universal para proceder a realizar el ensayo y mediante el empleo de un deformímetro con apreciaciones de 0.01 mm se pudo registrar los datos y también observar las deformaciones que se van produciendo por el aumento de cargas en forma gradual, llegando a un límite de elasticidad y de fluencia, posteriormente se ocasionó la ruptura de la probeta debido a un aumento de carga.

Se realizaron los siguientes cálculos: esfuerzo a límite proporcional, resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura, usando los datos previamente tomados. Mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma=Q/A \quad (\text{Esfuerzo})$$

$$\varepsilon=\delta/L \quad (\text{Deformación unitaria})$$

Donde:

Q: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm²

ε: Deformación unitaria, mm/mm

σ: Esfuerzo unitario, kg/cm²

δ: Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

• **Resistencia a la compresión perpendicular**

De acuerdo a las normas ASTM D 143/ 77-82, con probetas de 5x5x20 cm en sus tres estados verde, seca al aire, seca al horno se realizó el ensayo de compresión perpendicular siguiendo el mismo procedimiento del ensayo de compresión paralela pero en este caso adicionándole una lámina de acero de 5mm de espesor, la que fue colocada sobre la probeta y por la acción de cargas suministradas se observó como la lámina penetró en la parte transversal, mediante esta acción se espera la deformación de la probeta. Con los datos obtenidos en el ensayo se calculó el esfuerzo al límite proporcional, la resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura, utilizando las fórmulas del ensayo de compresión paralela, se pudo graficar los valores de esfuerzo frente a la deformación y se realizaron los siguientes cálculos.

$$\sigma=Q/A \quad (\text{Esfuerzo})$$

$$\varepsilon=\delta/L \quad (\text{Deformación unitaria})$$

• **Tracción**

Se realizó el ensayo de tracción con probetas en estado verde, seca al horno y seca al aire con dimensiones de 2.5x2.5x45 cm formadas por una parte central calibrada, como especifican las normas ASTM D 143, en sus dos extremos existen escotaduras, donde se fijaron las mordazas de tracción de la maquina universal. Las probetas fueron medidas y marcadas en su parte central calibrada a una longitud de espaciamento de 20 cm, que delimita el tramo o longitud útil donde se debía situar el deformímetro.

Una vez ubicada la probeta en las mordazas de sujeción del tensiómetro, se procedió a descargar el fluido del mismo, previo a iniciar el ensayo se debió aplicar una cierta carga para que la misma se acople a los dispositivos de retención de la máquina. Esta carga inicial era de 50 kg. Luego de esto se aplicaron las cargas graduales y se pudo observar la deformación de

la probeta, se debió ir registrando los datos que marca el deformímetro ubicado en el intervalo de la longitud útil, se fue aumentando la carga progresivamente hasta llegar a un valor límite de elasticidad. Cuando la carga externa supera el límite de elasticidad, la deformación pasó a ser permanente, iniciándose la fluencia del material, cuando la probeta inicia dicha fluencia con un mínimo aumento de carga, se provocó su ruptura. Los cálculos se desarrollaron de una manera muy parecida a los que corresponden a la compresión paralela y compresión perpendicular. Usando las mismas formulas:

$$\sigma=Q/A \quad \text{(Esfuerzo)}$$

$$\varepsilon=\delta/L \quad \text{(Deformación unitaria)}$$

- **Dureza**

El ensayo de dureza se determinó según establece la norma ASTM 143/83-87, de acuerdo a los tres estados de la madera verde, seca al horno y seca al aire, para el procedimiento se utilizaron probetas de 5x5x5 cm, sin fallas ni defectos. El ensayo consistió en la introducción de una esfera de acero de 5 mm de diámetro, en donde se aplicará una carga constante, con un tiempo de duración de 26 segundos, que dejó una huella de sección circular. Se realizó ensayos para la cara radial, tangencial y longitudinal, posteriormente se procedió a medir el diámetro de la marca dejada por la esfera indentor con la utilización de un estereoscopio electrónico con capacidad de 20 ampliaciones. Con los datos que se obtuvieron de cada una de las caras de la probeta: transversal (corte en dirección perpendicular al eje del tronco), radial (el corte tiene dirección paralela a los radios) y tangencial (corte tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol). Se calculó la dureza de cada una de las especies en estudio.

Fórmula para el cálculo de dureza Brinell:

$$HB=2Q/(\pi \times D \times [D^2 - (D^2 - d^2)]^{1/2}) \quad \text{(Dureza Brinell)}$$

Donde:

- D:** Diámetro de la esfera indentor, cm
- d:** Diámetro de la huella en la probeta, cm
- Q:** Carga aplicada en la prueba, kg
- HB:** Dureza Brinell, kg/ cm²

- **Clasificación de las especies de acuerdo a su dureza.**

La clasificación de las diferentes especies de acuerdo a la dureza de su madera, se lo realizó tomando en cuenta los resultados obtenidos en los

ensayos físicos (densidad básica) y ensayos mecánicos (dureza Brinell), ya que la dureza de la madera está directamente relacionada con la densidad de la misma según Markwardt y Heck (2001). De acuerdo al ensayo de dureza Brinell se debe obtener probetas en relación a sus caras longitudinal, tangencial y radial para así establecer cuál es la más resistente, para determinar la dureza cada probeta es sometida a una carga constante y marcada con el indentor que es una bola de acero, la cual dejara su huella para luego ser medida con el estereoscopio y con los datos obtenidos realizar los cálculos respectivos para así determinar la dureza que presenta la probeta.

Tabla 4. Clasificación de la madera por su dureza.

CLASIFICACION DE LA MEDERA DE ACUERDO A SU DUREZA			
CLASIFICACIÓN SEGÚN:			
DENSIDAD BÁSICA	DENSIDAD	DUREZA	TRABAJABILIDAD
0,24	Muy Liviana	Muy Suave	Muy Fácil
0,33	Liviana	Suave	Fácil
0,61	Mediana	Media	Moderada
0,83	Pesada	Dura	Difícil
1,02	Muy Pesada	Muy Dura	Difícil

Fuente: (Markwardt y Heck, 2001)

Resultados

1. Propiedades físicas de la madera en sus tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.

a. Contenido de humedad.

Tabla 5. Contenido de humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno.

ESTADOS	ESPECIES		
	C	P	I
CHv	29,68	60,16	71,89
CHsa	12,28	15,26	13,00
CHsh	10,74	12,77	11,70

Elaborado por: Morejón E, 2017

CH: Contenido de Humedad.

CHv: Contenido de Humedad en verde.

CHsa: Contenido de Humedad seco al aire.

CHsh: Contenido de Humedad seco al horno.

Una vez tomados los datos respectivos para determinar el contenido de humedad que presentó cada una de las especies en estudio, se pudo apreciar que el mayor contenido de humedad en estado verde de acuerdo a la tabla es el Intachi con el 71,89 % siguiéndole el Pigüe con 60,16 % y finalmente la Chonta con el 29,68% de humedad respectivamente. Con respecto al porcentaje de humedad en estado seco al aire y seco al horno que perdió cada

especie, se pudo ver que la Chonta alcanzo el 12,28% seco al aire y 10,74% seco al horno presentando así el menor contenido de humedad con relación a las otras dos especies, Intachi 13,00% y 11,70% y el Pigüe con el 15,26 % y 12,77%.

b. Densidad

Tabla 6. Resultados, prueba de densidad.

Condición	Especie/Código		
	C (1-2)	P(1-2)	I(1-2)
Dvx (gr/cm ³)	1,24	0,70	1,05
Dsax (gr/cm ³)	1,09	0,69	0,97
Dshx (gr/cm ³)	1,04	0,52	0,68

Elaborado por: Morejón E, 2017

Dvx: Densidad verde promedio

DSax: Densidad seca al aire promedio

DShx: Densidad seca al horno promedio

En la Tabla anterior que representa la densidad en los tres estados nos facilitó definir los valores obtenidos para cada especie. En estado verde la Chonta tuvo una densidad de 1,24 gr/cm³ clasificación muy alto, Intachi con 1,05 gr/cm³ es moderadamente alto y el Pigüe con 0,70 gr/cm³ es moderadamente bajo, la clasificación se la hizo de acuerdo al Cuadro A (anexos) propuesto por Sotomayor 1987, Hinojosa H y Zavala P 1992.

En estado seco al aire, la Chonta está clasificada como moderadamente alto con 1,09 gr/cm³, Intachi 0,97 gr/cm³ es mediano y Pigüe moderadamente bajo con 0,69 gr/cm³.

La densidad de la madera en estado seco al horno se clasificó de la siguiente manera: Chonta 1,04 gr/cm³ moderadamente alto, Intachi 0,68 gr/cm³ moderadamente bajo y Pigüe 0,52 gr/cm³ bajo.

2. Propiedades mecánicas de la madera en sus tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.

a. Flexión Estática. (3 prueba mecánica)

Tabla 7. Resultados del esfuerzo en el ensayo de resistencia a la flexión.

Prueba (3)	ESTADO	ESPECIES		
		C	P	I
Flexión estática δ (kgf/cm ²)	Sa	1473,29	702,25	551,49
	Clasificación	Mediano	Muy Bajo	Muy Bajo
	V	1278,64	646,15	501,56
	Clasificación	Mod. Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
	Sh	2091,38	1255,03	1163,48
	Clasificación	Mod. Alto	Mod. Bajo	Mod. Bajo

Elaborado por: Morejón E, 2017

δ = Esfuerzo flector o módulo de ruptura. (Kgf/cm²)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de flexión estática que se muestra en la Tabla 7 y con la ayuda del cuadro comparativo A (anexos) se pudo comparar los resultados y clasificarlos de la manera siguiente: la Chonta presentó los valores más altos en los tres estados, seco al aire 1473,29 kg/cm², verde 1278,64 kg/cm² y seco al horno 2091,38 kg/cm² clasificándose como mediano, moderadamente bajo y moderadamente alto; con respecto al Pigüe e Intachi se pudo ver que los resultados más altos se presentaron estando las probetas secas al horno Pigüe 1255,03 kg/cm² y el Intachi 1163,48 kg/cm² clasificándose los resultados como Moderadamente bajo, los resultados restantes por presentar un valor inferior a todos los demás se clasificaron como Muy bajo en estado seco al aire y en verde para las dos especies Pigüe e Intachi. Cabe recalcar que el Pigüe en este ensayo presentó una mayor resistencia frente al Intachi en sus tres estados.

b. Cizallamiento o Corte. (4 prueba mecánica)

Tabla 8. Valores promedio y clasificación, ensayo de resistencia al corte.

Prueba (4)	ESTADO	Especie		
		C	P	I
Corte σ_x (kgf/cm ²)	Sa Clasificación	1575,20 Muy Alto	542,55 Muy Alto	820,12 Muy Alto
	V Clasificación	1115,60 Muy Alto	485,05 Muy Alto	621,59 Muy Alto
	Sh Clasificación	1611,74 Muy Alto	565,00 Muy Alto	829,90 Muy Alto

Elaborado por: Morejón E, 2017

σ_x : Resistencia o esfuerzo al cizallamiento o corte. Kgf/cm²

De acuerdo a los valores arrojados, se puede corroborar lo que señala (Paguay, 2013) mencionando a Andrade 1990, donde expone que mientras menor sea el contenido de humedad existe en la madera mayor será la resistencia, ya que a medida que las maderas se secan las paredes celulares se vuelven más duras y rígidas lo cual genera un aumento de las propiedades mecánicas argumento que sostiene refiriéndose a estudios realizados en la anatomía y secado de la madera.

c. Resistencia a la Compresión Paralela. (5 prueba mecánica)

Tabla 9. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión paralela en tres estados Sa/V/Sh.

PRUEBA (5)	ESTADOS	ESPECIE		
		C	P	I
Compresión paralela a las fibras σ_x (kgf/cm ²)	Sa	1561,61 Mediano	1424,52 Mod. Bajo	995,95 Bajo
	V	1437,37 Mod. bajo	1112,07 Mod. Bajo	682,59 Muy Bajo

Sh	1797,30 Alto	1538,11 Mediano	1460,12 Mediano
----	-----------------	--------------------	--------------------

Elaborado por: Morejón E, 2017

σx: Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura.

Haciendo el análisis respectivo de la Tabla anterior podemos decir que las especies en estudio presentaron un comportamiento que sigue lo señalado por la Ley de Hooke la cual establece que el “esfuerzo es proporcional a la deformación, hasta un determinado valor de la carga”. (Igartua, et al., 2009). Definición que se verifica con los resultados obtenidos en el ensayo, donde las tres maderas en estado seco al horno presentan una mayor resistencia a la ruptura o esfuerzo.

Se clasifican los valores de la siguiente manera: en estado seco al horno la Chonta presenta un nivel de clasificación alto, mediano para las dos especies restantes; moderadamente bajo en estado verde en el caso de las tres especies y en estado seco al aire se clasifican como Mediano, Moderadamente bajo y Bajo respectivamente para Chonta, Pigüe e Intachi de acuerdo a Hinojosa H y Zabala P 2000.

d. Resistencia a la Compresión Perpendicular. (6 prueba mecánica)

Tabla 10. Resistencia al esfuerzo y clasificación, ensayo de compresión perpendicular en tres estados Sa/V/Sh.

PRUEBA (6)	ESTADOS	ESPECIE		
		C	P	I
Compresión perpendicular a las fibras σx (kgf/cm ²)	Sa	151,03	109,66	128,36
		Alto	Mediano	Mediano
	V	136,73	70,47	121,95
		Mediano	Moderadamente Bajo	Mediano
	Sh	259,55	118,62	147,49
		Muy Alto	Mediano	Alto

Elaborado por: Morejón E, 2017

σx: Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura.

Las tres especies Chonta, Pigüe e Intachi con 259,55; 118,62; 147,49 Kg/cm² en estado seco al horno presentan los valores más altos con relación a los otros dos estados, resultados que se clasifican de acuerdo a Hinojosa H y Zabala P 2000 como: Muy Alto, Mediano y Alto respectivamente.

En estado verde se obtuvo los valores más bajos Chonta 136,73 Kg/cm², Pigüe 70,47 Kg/cm², Intachi 121,95 Kg/cm² con clasificación Mediano, Moderadamente bajo y Mediano y en estado seco al aire la primer especie con 151,03 Kg/cm² se clasifica como Alto y las dos restantes como Mediano con 109,66 y 128,36 Kg/cm². (Cruz de León, 2011) Señala que La

compresión perpendicular aumenta debido al efecto de la degradación de la madera por el ataque de hongos ya que los elementos que están sujetos a esta propiedad son entre otros, travesaños de puertas y las partes de vigas de madera que están en contacto con el muro.

e. Tracción. (7 prueba mecánica)

Tabla 11. Resultados obtenidos, prueba de resistencia a la tracción.

ESTADO	ESPECIE		
	C	P	I
Sa	1232,12	761,48	568,46
V	1047,57	561,64	474,56
Sh	1518,58	994,67	630,94

Elaborado por: Morejón E, 2017

Se pudo observar en este ensayo que los resultados según la Tabla antes mencionada en relación a las especies, la que presento mayor resistencia es la Chonta con: 1232,12; 1047,57; 1518,58 kg/cm², seguida por el Pigüe con: 761,48; 561,64; 994,67 kg/cm² y finalmente el Intachi con: 568,46; 474,56; 630,94 kg/cm² en sus tres estados seco al aire, verde y seco al horno según la ubicación de los resultados. Como se pudo ver el tercer valor en las tres especies es el más alto, esto quiere decir que presentó la mayor resistencia a la tracción debido a que es seco al horno mientras que el segundo valor es el más bajo demostrando así que las maderas en estado verde presentan una menor resistencia a la tracción debido al alto contenido de humedad que tuvieron al momento de la práctica.

f. Dureza Brinell. (8 prueba mecánica)

Tabla 12. Promedio de los resultados obtenidos en la prueba de Dureza Brinell.

CARAS L-T-R	ESTADOS Sa/V/Sh	ESPECIE/CÓDIGO		
		C	P	I
HB. L.T.R	Sa	785,90	392,31	395,75
HB. L.T.R	V	785,90	390,65	392,31
HB. L.T.R	Sh	796,19	392,31	400,89

Elaborado por: Morejón E, 2017

HB. CR. CT. CL: Dureza de la madera cara radial, tangencial y longitudinal.

Realizando el análisis respectivo con relación a la Tabla 12 podemos mencionar que las tres especies en estudio presentan los valores un poco más altos en estado seco al horno con relación al estado verde y seco al aire, a excepción del Pigüe que presento el mismo valor tanto en estado seco al horno como seco al aire quedando los datos de la siguiente manera: seco al horno 796,19; 392,31 y 400,89 Kg/cm², verde 785,90; 390,65; 392,31 Kg/cm² y en

seco al aire 785,90; 392,31 y 395,75 Kg/cm² para la Chonta, Pigüe y el Intachi respectivamente; comparando entre el estado verde y seco al aire el que arrojo valores más bajos fue el estado verde a diferencia de la Chonta en donde los resultados son los mismo para los dos estados.

Continuando con el análisis de acuerdo a las caras tenemos que: la chonta en estado seco al horno cara tangencial es la más resistente, el Pigüe presento el mismo valor 392,31 Kg/cm², en sus tres caras y estados a excepción del dato en estado verde en la cara radial con 387,34 Kg/cm² que fue el más bajo y finalmente el Intachi presento el valor más alto 402,63 Kg/cm² en estado seco al aire y seco al horno de la cara longitudinal al igual que en la cara radial estado seco al horno.

Finalmente para realizar la clasificación de Dureza según Hinojosa H y Zavala P 2000 con el cuadro F y la Tabla 15 de resultados podemos indicar que la madera más resistente a las pruebas fue la Chonta clasificándose como Muy Dura en los tres estados mientras que el Pigüe y el Intachi se clasifican como semi duras.

Conclusiones

- Las propiedades físicas para contenido de humedad (CH) y densidad en estado verde de las tres especies fueron, para chonta 29,68 % de CH y 1,24 gr/cm³ en donde se clasifica como muy alto, con dicho valor se puede decir que el ataque de hongos y patógenos sería mucho menor.
- Pigüe 60,16% CH, densidad 0,70 gr/cm³ clasificación moderadamente bajo, por lo que se requiere un tratamiento para hongos y patógenos, además se consideraría con características limitadas como material de construcción para exteriores.
- El Intachi 71,89% de CH y 1.05 gr/cm³ de densidad moderadamente alto, por lo cual necesitaría un mayor tiempo de secado y necesitaría un tratamiento para el ataque de hongos y patógenos.
- Dentro de las propiedades mecánicas la especie con los resultados más altos fue la chonta, en los tres estados por lo que se podría utilizar en la industria como material de construcción que se requiera esfuerzo y se puede utilizar como material para exteriores.
- El Pigüe dentro de las propiedades mecánicas se puede decir que es una madera resistente pero no para la industria maderera en temas de construcción, se lo puede utilizar en tableros y contrachapados para interiores, en donde la humedad ambiental no sea alta.
- En el Intachi presenta buenas características mecánicas por lo que se puede recomendar realizar trabajos de construcción y elaboración de tableros y contrachapados, con humedad controlada.

References:

1. American Society for Testing and Materials. (2012). ASTM. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Estados Unidos*. 1-13.
2. American Society for Testing and Materials. (2000). ASTM-D143/94. *Standard methods of testing Small Clear Specimens of Timber*. Estados Unidos.
3. Chave, J. (2006). *Medición de densidad de madera en árboles tropicales*. Manual de Campo. Proyecto PAN-AMAZONIA. Ecuador. 2.
4. Cruz de León, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. Morelia. Mich. México. 402.
5. Paguay P, I. (2013). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (Styloceras sp), yagual (Polylepis racemosa), nogal (Juglans neotropica)*. (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador. 14-35.
6. Sotomayor, J. R. & Olguín, J. B. C. (2014). *Caracterización mecánica por ondas de esfuerzo de madera plastificada de Quercus scytophylla*. Enero-Abril. 33-40. Investigación y Ciencia. México. 33-40.