

PROPIEDADES DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl) Y SU
POTENCIAL EN SISTEMAS AGROFORESTALES.

ANGIE KATHERYN GUERRERO RIASCOS
LUIS RICARDO BURBANO CHICAIZA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
COLOMBIA
2015

PROPIEDADES DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl) Y SU
POTENCIAL EN SISTEMAS AGROFORESTALES.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al
Título de ingeniero agroforestal.

ANGIE KATHERYN GUERRERO RIASCOS
LUIS RICARDO BURBANO CHICAIZA

Presidente de Trabajo de Grado:

MIRIAM DEL ROSARIO GUAPUCAL I.A; Ms.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
COLOMBIA
2015

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966 emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Jurado

PROPIEDADES DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl) Y SU POTENCIAL EN SISTEMAS AGROFORESTALES.

Angie Katheryn Guerrero Riascos ¹

Luis Ricardo Burbano Chicaiza ²

Miriam del Rosario Guapucal ³

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el municipio de Pasto, Nariño, la cual consistió en la determinación de las propiedades físicas, químicas, mecánicas y térmicas de la madera del roble (*Quercus humboldtii* Bonpl) y de acuerdo a los resultados y características de la madera se recomendó Sistemas Agroforestales en cercas vivas; para estas pruebas se utilizaron probetas con diferentes medidas de acuerdo a las normas NTC 206 (ISO 3130), por cada ensayo fueron 10 probetas con un total de 130 ensayadas al finalizar la investigación. Estos ensayos se realizaron en diferentes laboratorios de la Universidad de Nariño. Además se realizó un diseño experimental Anova multifactorial, comparando las condiciones de secado y humedad en la madera, luego estas fueron sometidas a diferentes mecanismos de resistencias y deformación. Se obtuvo una alta rigidez y elasticidad en los diferentes ensayos, resultando con importancia comercial en la industria de construcción pesada, por otro lado su potencial dendroenergético es importante para el momento de utilizar leña como fuente de energía.

Palabras claves: Propiedades físicas, Roble, deformación, Sistemas Agroforestales, flexión.

¹ Estudiante Tesista. 2015. Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. E-mail: angieieg@hotmail.com

² Estudiante Tesista. 2015. Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. E-mail: ricardobch92@hotmail.com

³ Ingeniero Agroforestal. Profesora catedrático. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. E-mail: mguapucalc@hotmail.com

ABSTRACT

This research was conducted in the city of Pasto, Nariño, which consisted of determining the physical, chemical, mechanical and thermal properties of wood of oak (*Quercus humboldtii* Bonpl) and according to the results and characteristics of wood Agroforestry Systems in living fences are recommended; for these tests specimens were used with different measures according to NTC 206 (ISO 3130) standards for each assay were 10 test specimens with a total of 130 tested at the end of the investigation. These trials were conducted in different laboratories of the University of Nariño. Anova addition multifactorial experimental design was performed by comparing the drying conditions and moisture in the wood, then these were subjected to different mechanisms of resistance and deformation. High rigidity and elasticity in the different trials was obtained, resulting in commercially important in the heavy construction industry, on the other hand its potential wood energy is important when using wood as an energy source.

Key Words: physical properties, oak, deformation, Agroforestry Systems, flexion.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	8
DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE DE ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl)	9
Clasificación Taxonómica Familia: Fagaceae (CRC, 2005).....	9
Nombre científico: <i>Quercus humboldtii</i> Bonpl (CRC, 2005).....	9
Descripción del árbol.....	9
Características de la madera	9
Usos	10
Localización.	10
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl).....	10
Contracción.....	11
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i>	11
Bonpl)	11
Flexión.	11
Compresión perpendicular a la fibra.....	12
Compresión paralela a la fibra.....	12
PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl)	12
PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl)	13
DISEÑO EXPERIMENTAL ANOVA MULTIFACTORIAL.	13
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i>).....	14
Contenido de humedad.....	14
Flexión estática.....	17
Compresión perpendicular.	19
Compresión paralela.....	20
Dureza de Brinell	20
Poder calórico.....	21
Contenido de cenizas.....	22
PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl).....	23
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	24
PROPUESTA AGROFORESTAL.....	27

INTRODUCCIÓN

El roble (*Quercus humboldtii* Bonpl), es una especie nativa de mucha importancia en Colombia por su uso en repoblamiento forestal y restauración de tierras alto andinas degradadas (Sepúlveda *et al*, 2014). Según el MAVD (2006), la amplia distribución del roble *Q. humboldtii* en la región andina la convierte en una especie muy importante a nivel biológico y socioeconómico, con posibilidades de restauración, manejo y uso sostenible de bienes y servicios ambientales. Sin embargo, desde la época precolombina el roble *Q. humboldtii*, a pesar de ser considerado como un árbol sagrado, fue perseguido insistentemente por la corona española; posteriormente adquirió gran relevancia por la calidad de su madera, motivando la sobreexplotación (Fernández, 1977; Pacheco y Pinzón, 1997; Calderón, 2001). Situación que actualmente aún persiste; ya que según Cárdenas y Salinas (2007), y la gran mayoría de Corporaciones Autónomas Regionales del país o CAR, reportan a esta especie en un grado avanzado de amenaza debido a la extracción maderera. De acuerdo a tales corporaciones regionales, el 42% de sus poblaciones han sufrido un intenso proceso de disminución, por lo cual el roble *Q. humboldtii* entra a la categoría vulnerable (VU A2cd) según la categorización de la UICN.

Mitigar la explotación forestal inadecuada en el roble *Q. humboldtii*, implica avanzar en el campo de la investigación, la cual permita sentar bases de conocimiento para reconocer detalladamente la especie con el fin de apoyar las estrategias para su manejo y conservación (González y Parrado, 2010). Dentro de este contexto, la Agroforestería se convierte en el marco de trabajo que puede contribuir eficientemente en la creación de sistemas integrales de producción quienes permitirán mantener la productividad, proteger los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales y satisfacer las necesidades económicas y sociales de la gente (Meza, 2003), permitiendo entonces al roble *Q. humboldtii*, convertirse en un componente innovador y estratégico en el desarrollo de estos sistemas integrales, el cual podrá mejorar la agroforestería de tipo tradicional manejada en la región Nariñense (Muñoz *et al*, 2013).

Estudiar el potencial de la madera del roble *Q. humboldtii*, a partir del ensayo de sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y químicas constituye una herramienta que posibilita la creación de recomendaciones agroforestales, necesarias para el desarrollo de sistemas agroforestales, que involucren a esta especie forestal encaminadas a nuevas

perspectivas de explotación maderera, lo que hace que pueda responder a un ambiente más productivo, sostenible y adecuado a la región Nariñense y consecuentemente al país.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE DE ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

Clasificación Taxonómica Familia: Fagaceae (CRC, 2005).

Nombre científico: *Quercus humboldtii* Bonpl (CRC, 2005).

Sinónimo: *Erythrobalanus duqueana* *Erythrobalanus humboldtii* *Erythrobalanus lindenii* *Erythrobalanus tolimensis* *Quercus almaguerensis* *Quercus humboldtii* var. *lehmanniana* *Quercus lindenii* *Quercus tolimensis* Schwarz; (Bonpl.) Schwarz; (A. DC.) Schwarz; (Bonpl.) Schwarz; Bonpl.; Hieron. ex Trel.; A. DC.; Bonpl. (CRC, 2005).

Nombre común: Algarrobo, Cedro, Roble, Roble blanco, Roble colorado, Roble amarillo, Mamecillo. (CRC, 2005).

Descripción del árbol

El roble *Q. humboldtii* es un árbol de 15 a 30 m de alto y un DAP de hasta 1 m. Posee un tronco recto y cilíndrico (Arévalo & Londoño, 2005). Los árboles grandes tienen raíces tablares, las hojas son alternas, oblongo-lanceoladas. Las flores son racimosas de 5 cm de largo (Arévalo & Londoño, 2005). El fruto es de color castaño claro, con una cápsula ovoide o de bellota, el cual tiene un pericarpio coriáceo, de 20 a 25 mm de diámetro y 50 a 70 mm de largo, sobre una cúpula escamosa. El interior de la cáscara de bellota es velludo (OPEPA, 2015).

Características de la madera

La madera es dura y pesada duramen de color amarillo oscuro o grisáceo, los radios conspicuos, en los cortes longitudinales son de color marrón claro, olor y sabor no distintivos (Pacheco y Pinzón 1997). El grano es recto, textura gruesa y vetado acentuado por los radios conspicuos. El lustre es bajo, resistente a la pudrición en contacto con el suelo. La densidad se halla entre el 0.9 a 1.0 gr / cm³ (Galindo *et. al* 2003).

Usos

Según Gómez & Toro (2007), su madera es utilizada en ebanistería, construcción, estacones, mangos de herramientas, pisos y cercas. Es usada en la elaboración de artesanías, toneles y también para leña y carbón vegetal. Los frutos tiernos sirven de alimento para la fauna. La corteza es rica en taninos para el tratamiento de pieles. La especie se utiliza en la protección de la ribera de ríos y quebradas.

Localización.

El estudio se realizó en los laboratorios de suelos agrícolas, materiales, suelos y pavimento y los laboratorios especializados o extensión de la Universidad de Nariño, geográficamente se encuentran con coordenadas ° 12' 0" Norte, 77° 16' 1" Oeste. (Alcaldía Municipal de Pasto, 2015).

La especie de estudio fue un árbol de Roble (*Q. humboldtii* Bonpl), obtenido de la finca La Esperanza del Señor Carlos Caicedo, ubicada en el corregimiento de Genoy, vereda Puyitopamba del municipio de San Juan de Pasto, Nariño; posteriormente se la traslado al aserrío San Andrés donde se realizaron las diferentes probetas con las dimensiones aptas para cada prueba.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

Se obtuvieron 10 probetas con dimensiones de: 5 cm de grosor, 5 cm de alto y 10 cm de largo, las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos Agrícolas de la Universidad de Nariño, estas posteriormente se las midió y peso para su secado en horno a una temperatura de 102° C, como también otras al aire libre.

Contenido de humedad.

Se tomó el peso y medidas iniciales de las probetas, luego se las sometió al horno a una temperatura de 102°C, durante 24, 48 y 72 horas; posteriormente se registró los datos de peso y dimensiones de las probetas, pasados 3 días en el horno se las saco y se realiza el procedimiento para la ganancia de agua (hinchamiento), se colocó en un recipiente con agua durante cinco días. Una vez obtenidos los datos se procedió a determinar el contenido de humedad en los dos casos, mediante la fórmula (Córdoba, 2005);

$$CH \% = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Una vez obtenidos los datos, tanto del proceso de contracción como de hinchamiento al que fueron sometidas las probetas se realizó los cálculos para la determinación de volumen y densidad, mediante las siguientes formulas (Córdoba, 2005):

$$\text{Volumen (cm}^3\text{)} = \text{largo} \times \text{Alto} \times \text{Ancho} \quad \text{Densidad} = \frac{\text{masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Contracción.

Se entiende por contracción, a la disminución o pérdida de volumen de la madera, bajo el PSF (punto de saturación de fibras) y se expresa como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde. Donde se calculó la disminución del volumen como consecuencia del adelgazamiento de las paredes celulares al perder masa la celulosa (Córdoba, 2005).

$$C = \frac{D_i - D_f}{D_i} * 100$$

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

Flexión.

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz o distancia entre apoyos, en la carga radial de la probeta (Díaz, 2005). Esta prueba se sometió a 10 probetas que tuvieron unas dimensiones de 2 X 2 X 30cm a una carga con velocidad constante hasta la rotura.

Al aplicar una fuerza sobre la pieza de madera, se observó la capacidad de elasticidad que ésta tiene, la cual se mide en libras y se trasforma en Kg, con los datos que se obtienen en la prueba se procede a realizar el diagrama esfuerzo-deformación, y posteriormente se aplica las siguientes formulas (Díaz, 2005).

$$\begin{aligned} \text{Cota de tenacidad} &= 1,459 \times \frac{MOR_f}{R_c} & MOR &= \frac{3 \times Q \times L_f}{2 \times a \times h^2} \\ \text{Cota de flexion} &= \frac{MOR}{100 \times P_{12}} & MOE &= \frac{P_l p \times L}{4 \times D_l p \times a \times h} \end{aligned}$$

Compresión perpendicular a la fibra.

Se tomó 10 probetas de 5x5x10 cm de la especie del roble y se las sometió a una carga constante con una placa de 5x5cm y 5mm de alto, hasta que esta penetrara 2 milímetros, una vez realizada la prueba con los datos obtenidos se aplicaron las formulas y se analiza la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta (Solís, 2014).

$$MOE_{cn} = \frac{Plp \times h}{Dlp \times a \times z}$$

Compresión paralela a la fibra.

Al realizar esta prueba se sometió las 10 probetas de 2x2x5 cm de la especie del roble, a una presión, aumentando la carga, hasta llegar al punto de ruptura, observando la resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra; una vez realizado el ensayo con los datos obtenidos se procedió a aplicar las siguientes formulas (Solís, 2014).

$$MOE_c = \frac{Plp \times L}{Dlp \times a \times e}$$

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

Para poder determinar las propiedades térmicas, se extrajo 700g de aserrín de la madera del roble *Q. humboldtii*. Esta fue empacada y distribuida en 100 g de muestra, las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Bromatología y Abonos Verdes, adscrito a la Universidad de Nariño.

Se analizó el contenido de humedad inicial, el cual fue de 24,2%, secado a 120°C. A continuación se muestra el protocolo usado para el análisis de energía (Poder calorífico) y contenido de ceniza empelado:

Tabla 1: Protocolo empelado para determinación de energía (Poder calorífico) y contenido de cenizas

Parámetro	Método	Técnica	Unidad de medida
Energía (Poder calorífico)	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	g/100g
Contenido de ceniza	Incineración en mufla	Gravimétrica	g/100g

Fuente: Esta investigación.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

Para determinar las propiedades químicas, se hizo análisis de contenido mineral de azufre, carbono orgánico y fosforo en una muestra de aserrín extraído de la madera del roble *Q. humboldtii*, con 300 g, el cual fue repartido y entregado en tres muestras de 100g al Laboratorio de Bromatología y Abonos Verdes, adscrito a la Universidad de Nariño. En la tabla 2 se muestra el protocolo manejado para tal análisis:

Tabla 2: Determinación de contenido de minerales

Parámetro	Método	Técnica	Unidad de medida
Azufre	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g
Fosforo	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g
Carbono orgánico total	Walkey Black	Colorimétrica	g/100g

Fuente: Esta investigación

DISEÑO EXPERIMENTAL ANOVA MULTIFACTORIAL.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA con tres tratamientos que consistieron en diferentes secados de la madera, hinchamiento por agua y su influencia en las pruebas mecánicas de la madera (flexión estática, compresión paralela y perpendicular)

Se realizaron 7 repeticiones por cada ensayo, donde se sometió 7 probetas a secado al horno durante 72 horas a 102°C y luego por 5 días a imbibición, 7 más se dejaron secar durante tres semanas al aire libre hasta que llegaron al punto de equilibrio, las últimas 7

probetas también se las dejó secar al ambiente, posteriormente se las sometió a imbibición durante 3 días; consecuentemente se les aplicó los diferentes ensayos mecánicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii*)

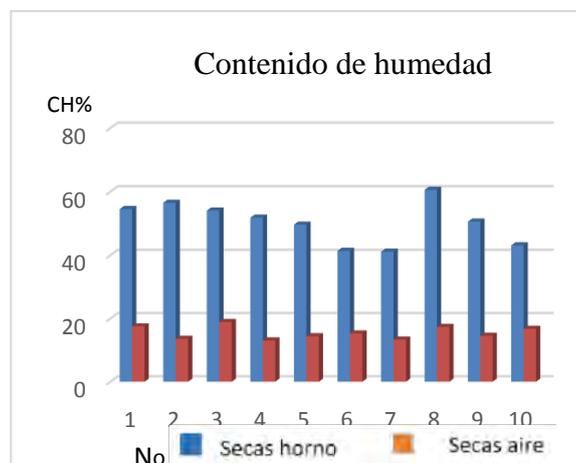
Para determinar el contenido de humedad, densidad, volumen y contracción se utilizaron las probetas de 10 cm de largo, 5 cm de ancho y 5 cm de alto. Estas probetas fueron sometidas a secado al horno, luego hinchamiento por imbibición y otras se secaron al aire libre, con una temperatura ambiente de 27°C; es de considerar que algunos valores pueden variar dentro de un rango al ensayar las distintas probetas, esto puede deberse a: el origen de la madera, la densidad, edad, clima o procedimiento, entre otros.

Contenido de humedad.

Las medidas de las probetas para contenido de humedad se obtuvieron según la norma NTC 206 (ISO 3130) y con los datos de peso seco al aire y peso seco al horno se calculó el contenido de humedad según la ecuación correspondiente (NTC 2500).

Tabla 3. Contenido de humedad en las probetas secas al horno. **Grafica1.** Contenido de Humedad secas al horno y al aire libre.

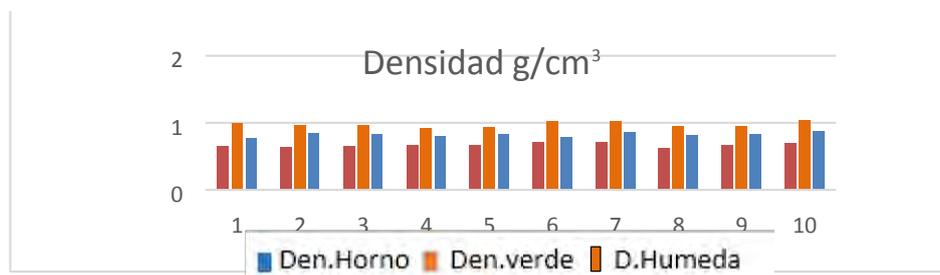
Probeta No	Peso 1 en verde	Peso 1 al horno	Peso 2 al Horno	Peso 3 al horno	CH %
1	274,4	207,6	181,19	177,55	54,54
2	270,18	208,09	178,7	172,65	56,49
3	270,51	213,48	183,56	175,57	54,07
4	256,62	199,09	174,46	169	51,84
5	256,7	201,95	176,69	171,54	49,64
6	265,46	209,14	189,86	187,73	41,40
7	266,94	207,16	190,61	189,13	41,14
8	270,46	196,1	173,09	168,42	60,58
9	261,43	203,33	180,28	173,57	50,61
10	271,95	215,35	193,65	190,02	43,11



Fuente: Esta investigación.

La madera del roble es una especie muy densa por lo tanto su secado es muy lento, de acuerdo a los datos anteriores (**Tabla 3**), donde indica el contenido de humedad, con un promedio de 50,34% que demuestra que el agua libre contenida en sus cavidades, es muy alta y tendría que seguir secando por más tiempo hasta poder llegar al P.S.F que en promedio es 28%, el cual corresponde a un estado de eliminación total del agua libre. Por otro lado, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, su secado necesita de más tiempo hasta un contenido de humedad inferior al 15%. De igual manera se hizo el ensayo secando la madera al aire, por espacio de tres semanas, llegando a un promedio de CH 15,45% (**Gráfica 1**), alcanzando una humedad en equilibrio. Se puede resaltar que este tipo de maderas necesita un secado por mayor tiempo en condiciones adecuadas del lugar, aireación y protección de agentes biológicos para su adecuada utilización.

Grafica 2. Densidad de las probetas en los diferentes procesos realizados.

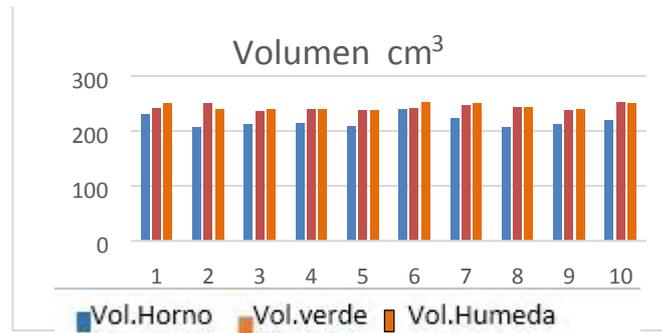


Fuente. Esta investigación.

Según, Rondón (1989), la densidad: es un parámetro que facilita la comercialización y el uso de especies nuevas de las cuales se desconocen sus propiedades mecánicas. En el estudio realizado por Herrera *et al* (2004), la densidad evaluada fue de 0,99 g/cm³, coincidiendo con la clasificación en esta investigación.

En esta investigación (**Grafica 2**), la densidad en verde de las probetas fue de 0,76 g/cm³, seguido del proceso de secado en horno con un promedio 0,81 g/cm³ y al momento de imbibición se obtuvo una densidad de 0,9734 g/cm³. Lo anterior quiere decir que la clasificación de la madera del roble según la densidad es de tipo A siendo mayor de 0,71 g/cm³, en general el comportamiento de las 20 probetas ensayadas muestra una variación baja, logrando estar todas dentro de una densidad pesada (Rondón, 1989).

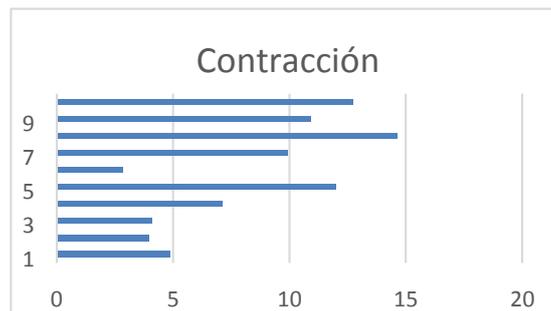
Grafica 3. Volumen de las probetas en los diferentes procesos ensayados.



Fuente: esta investigación.

En el ensayo de imbibición las probetas fueron colocadas en un recipiente con agua a medida que transcurrió el tiempo la madera fue ganando volumen; en la **gráfica 3**, se puede observar la diferencia entre los volúmenes estudiados, donde el volumen promedio de $217,29 \text{ cm}^3$ es el menor a 72 horas seco en horno y el mayor volumen es de $234,41 \text{ cm}^3$ en imbibición. Lo anterior da a entender que el roble es una especie que puede ganar cierto volumen sin sufrir daño de su estructura celular. Sin embargo, los posibles cambios de forma y masa dependen principalmente de los valores de acumulación y pérdida de agua libre en sus cavidades, los que pueden ser mucho mayores para maderas pesadas que para especies livianas que se ven ligeramente influenciadas por su tardío secado, siendo sometidas a hornos para un rápido procedimiento y utilización de estas maderas (Velis, 2003).

Grafica 4. Contracción volumétrica de las probetas ensayadas en horno.



Fuente: Esta Investigación.

En la gráfica 4 se observa la contracción volumétrica (CV) de las 10 probetas ensayadas secas a aire con un promedio de 8,30%, según la clasificación de CV% el anterior resultado se encuentra dentro del rango (10 a 5 %) el cual se entiende por contracción de calidad pequeña, éste dato coincide con el obtenido por Herrera *et al* (2004), así mismo

Arévalo & Londoño (2005), en pruebas de contracción en roble (*Quercus humboldtii*), obtuvieron un valor de 9,6 %. Según lo anterior la contracción indica la medida en que varían las dimensiones de la madera, siendo considerados muy importante al momento de ser utilizadas en procesos de carpintería, marcos, puertas, ventanas, para evitar daños en los diseños estructurales.

PROPIEDADES MECANICAS

Para estas pruebas las piezas de madera fueron sometidas a una pérdida de humedad por tres semanas, hasta llegar al punto de equilibrio promedio de 15% de CH para que las pruebas tengan valides al momento de hacer el análisis y para el uso adecuado que presenta cada ensayo. En general según los ensayos se observó que la madera de roble tiene grandes características en flexibilidad, dureza y resistencia, de acuerdo a los anteriores resultados, esta madera puede ser recomendada para construcción, especialmente como vigas, varengas, tablas, soleros, entre otros.

Flexión estática

Tabla 4: Resultados de las pruebas de flexión estática

No	Cota de flexión Kg/cm ²	MOR Kg/cm ²	Cota de tenacidad Kg/cm ²	MOE Kg/cm ²
11	11,17	1954,77	2,45	2,12
12	14,74	1999,00	2,93	2,17
13	7,44	1406,37	2,54	2,19
14	13,61	1777,87	2,38	2,15
15	14,91	2144,94	2,35	2,12
16	8,39	1282,54	2,53	2,12
17	10,71	1428,49	2,35	2,16
18	8,90	1543,47	2,17	2,16
19	7,57	1101,22	2,50	2,18
20	12,18	2038,80	2,03	2,17
PROMEDIO	10,9	1667,75	2,40	2,15

Fuente: Esta Investigación.

En la tabla 4, se puede apreciar los resultados obtenidos de las fórmulas de flexión estática con las 10 probetas secas al aire, observando las alteraciones de forma y dimensiones que tuvieron bajo la acción de una fuerza.

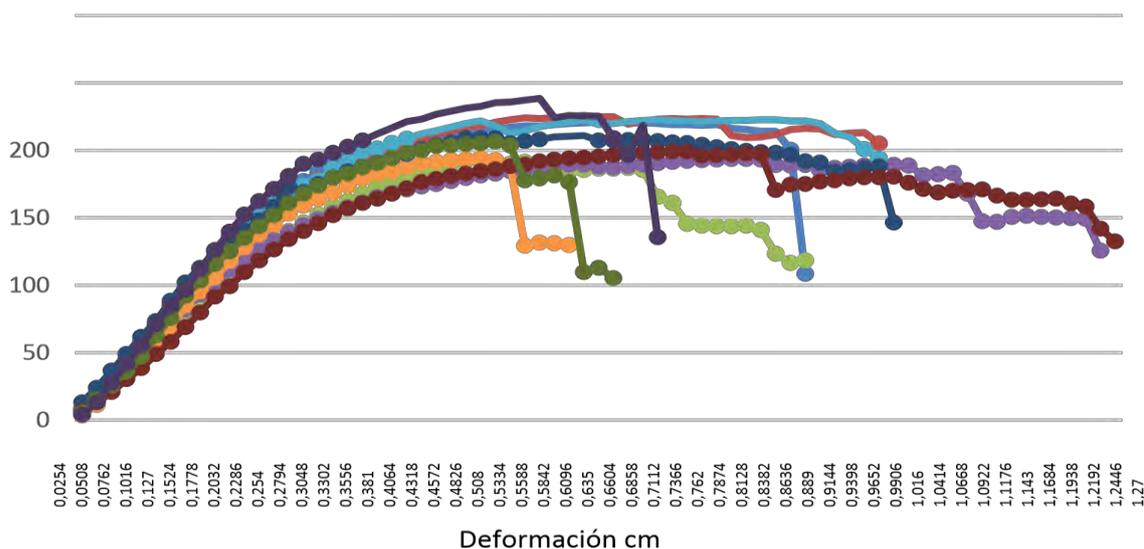
En la cota de flexión donde su promedio da 10,96 Kg/cm² según el rango esta entre 10,7 – 14,3 obteniendo una calidad medianamente apropiada para ser utilizada en carpintería según esta clasificación (Díaz, 2005).

La prueba de MOR (Modulo de Ruptura), presenta un promedio de 1667,75 Kg/cm² según el rango de clasificaron es mayor de 1283, lo que indica una alta capacidad para su nivel de ruptura, demostrando una gran rigidez y una gran resistente para ser utilizada como viga en construcción de casas o para soportar grandes cargas (Díaz, 2005).

La cota de tenacidad da un valor promedio de 2,40 Kg/cm², el rango (2 a 3) indica una calidad medianamente tenaz, una resistencia mediana, oponiéndose a ser roto, molido, doblado, desgarrado o suprimido; por eso es necesario verificar la calidad de la madera (Díaz, 2005).

Rondón (1989) realizó la prueba de MOE (Modulo de elasticidad), en varias especies forestales obteniendo como resultado en el roble granadillo (*Platymiscium pinnatum*) un valor de 2,1 kg/cm² clasificándose como madera del grupo A, el pino negro (*Pinus mugo*) con 1,5 kg/cm² clasificada como madera del grupo B, laurel de cera (*Morella pubescens*) con 1 kg/cm² una madera del grupo C; en comparación con los resultados obtenidos en el roble (*Quercus humboldtii*) de 2,15 kg/cm², ésta madera se clasifica dentro del grupo A, correspondiendo a maderas muy pesadas, las cuales son utilizadas para obras permanentes como muebles, puentes, cubiertas, traviesas de ferrocarril y grandes estructuras.

Grafica 5. Prueba de esfuerzo y deformación.



Fuente: esta investigación.

De acuerdo al ensayo de flexión (**Gráfica 5**); se puede observar que el roble resiste sin un alto daño en sus estructuras al momento de aplicarle una carga constante, gran elasticidad, una vez terminado el ensayo tuvo la capacidad de volver al estado original, denominándose a este hecho como deformación elástica, esta condición vuelve al roble un potencial para vigas o soporte en construcción.

Compresión perpendicular.

Tabla 5. Resultados de prueba de compresión perpendicular del roble.

No	MOEcn kg/cm ³
11	0,359132289
12	0,413752914
13	0,371851428
14	0,421665268
15	0,527602785
16	0,356872071
17	0,631045387
18	0,360504281
19	0,491395711
20	0,401660056
PROMEDIO	0,433548219

Fuente: Esta investigación.

Rondón (1989), realizando pruebas de compresión perpendicular en diferentes especies forestales obtuvo como resultados que el roble granadillo (*Platymiscium pinnatum*) es de 0,4 kg/cm³, pino negro (*Pinus mugo*) con 0,28 kg/cm³ y el laurel de cera (*Morella pubescens*) con 0,15 kg/cm³. Comparando con el roble tuvo un valor de 0,43 (Tabla 5), esto indica una gran resistencia que opuso a la carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras. Logrando la capacidad para soportar un peso sin ruptura, ni deforme, terminado el ensayo pudo volver a su estado original.

Compresión paralela.

Tabla 6. Resultados de las pruebas de compresión paralela a la fibra de la madera del roble

No	MOEc kg/cm ³
11	149,9228885
12	167,5405969
13	163,1497777
14	150,9752336
15	148,0722126
16	148,1810759
17	152,9892044
18	158,0694911
PROMEDIO	154,8625601

Fuente: Esta investigación.

Rondón (1989), la resistencia a la compresión paralela del roble granadillo (*Platymiscium pinnatum*) es de 145 kg/cm³, pino negro (*Pinus mugo*) con 110 kg/cm³ y el laurel de cera (*Morella pubescens*) con 80 kg/cm³, coincide con el valor de 154,86 kg/cm³ (**Tabla 6**), esto indica una gran resistencia que opuso la madera del roble *Q. humboldtii* como una viga aplicada con una carga constante, en el mismo sentido de la dirección de las fibras.

Dureza de Brinell

Tabla 7: Resultado de la prueba de Dureza de la madera del roble

No	Dureza de Brinell kg/ cm ³
31	1,55
32	1,73
33	1,92
34	1,73
35	1,90
36	1,29
37	1,56
38	1,34
39	1,49
40	1,83
Promedio	1,63

Fuente: Esta investigación.

La prueba de dureza brinell, puede definirse como la resistencia que presentan la madera al ser penetrado por cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, por un sólido, en este caso el balín (CORMA, 2003). Esta característica es importante en la definición de la facilidad de la madera a ser trabajada, por lo tanto, las maderas muy duras son de difícil elaboración, tal es el caso del roble, llegando en algunos casos a resultar poco rentables su aprovechamiento. La dureza del roble en promedio dio de 1,63 y es recomendable por tanto que las maderas comerciales para la industria mecánica tengan una dureza perpendicular a las fibras de entre 1,5 y 3 (Vignote y Martínez, 2006). Además, para ciertos usos, como carpintería o en muebles, exigen un mínimo de dureza y para construcción el nivel de dureza tiene que ser mucho mayor.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MADERA DEL ROBLE (*Quercus humboldtii*)

En las pruebas térmicas de la madera de roble *Q. humboldtii*, se determinaron el poder calorífico y contenido de cenizas. Estos resultados fueron obtenidos en el laboratorio de Bromatología y Abonos Orgánicos, llevando las muestras secas con un contenido de humedad de 24,2% a 120°C.

Tabla 8: Propiedades térmicas del roble *Q. humboldtii*

Parámetro	Método	Técnica	Unidad de medida	Base parcialmente seca (BPS)	Base seca (BS)
Poder calorífico	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	Kcal/100g	346	456
Contenido de ceniza	Incineración en mufla	Gravimétrica	g/100g	1,84	2,43

Fuente: Esta investigación

Poder calorífico

Definido el poder calorífico como la cantidad de energía que se aprovecha durante la combustión (AIFBN, 2008), al estar influenciado por dos factores, la densidad y la humedad presente en la madera (Dutt *et al*, 1989). Por lo tanto, se observó que con una

humedad inicial de 24,2%, se obtuvo 346 Kcal/100g siendo inferior al poder calórico con la muestra secada a 120°C, de 456 Kcal/100g, en conjunto con la densidad pesada anteriormente descrita, nos permite considerar su capacidad calórica muy buena. La investigación realizada por Montero (2014), la cual empleo la misma metodología para determinar la energía (Poder calórico), evidencia que la madera el roble *Q. humboldtii* posee una superioridad con respecto a los diferentes materiales estudiados (**Tabla 9**).

Tabla 9: Poder calórico de muestras usadas por Montero (2014) y poder calórico del roble *Q. humboldtii* en base seca.

Muestra	Procedencia	Poder calórico (Kcal/100g) B.S.
Bagazo de caña(<i>Saccharum officinarum</i>)	Sandoná (N)	407
Cuangare (<i>Otoba gracilipes</i>)	El Charco (N)	418
Estopa Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Tumaco (N)	404
Sajo (<i>Campnosperma panamensis</i>)	El Charco (N)	419
Cuangare/Sajo 50:50	El Charco (N)	427
Roble (<i>Quercus humboldtii</i>)	Pasto (N)	456

Fuente: Montero (2014) y la presente investigación.

Contenido de cenizas

Con el contenido de ceniza se determina el contenido mineral de la madera, esto es, la composición química de la misma.

Según Melissari, (2012), determinar el contenido de cenizas ayudará a conocer la tendencia a formar depósitos en calderas o estufas y su potencial para causar corrosión, erosión y abrasión, cuando se utilice la madera. Kollmann (1959), considera que el límite máximo de contenido de cenizas admisible en el desarrollo de una combustión no debe ser superior al 12%, valor que superado genera depósitos en las paredes de los hornos, siendo de importancia para determinar los procesos de lavado y limpieza del mismo. En cenizas los valores (**Tabla 8**), no superan el 12% del límite máximo de contenido de cenizas, el roble es una madera apta para usarse en hornos, favorece los costos de operación y una mejor disponibilidad para el funcionamiento correcto. Lo anterior contribuye a apoyar el uso de la madera del roble *Q. humboldtii* como material dendroenergético, uso de gran tradición por las comunidades rurales del país (Gómez y Toro, 2007; Salinas y Cárdenas, 2007; OPEPA, 2015).

Según AIDER (2013), reporta que para la madera considerada moderadamente liviana de la especie de Sapote *Matisia cordata*, con un contenido de cenizas de 2,13% que en comparación con el contenido de cenizas del roble *Q. humboldtii* con un 2,43%, teniendo buenas cualidades de poder calórico por su densidad pesada, también libera más contenido de ceniza en relación con maderas de densidad liviana.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE ROBLE (*Quercus humboldtii* Bonpl)

El Laboratorio de Bromatología y Abonos Orgánicos emitió un reporte final del contenido mineral de fósforo y azufre en base a la muestra parcialmente seca. Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10: Contenido mineral

Parámetro	Método	Técnica	Unidad de medida	Base parcialmente seca (BPS)	Base seca (BS)
Azufre	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,02	0,02
Fósforo	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,01	0,01

Fuente: Esta investigación.

Según Bernabé *et al*, (2013) se reporta que por medio del análisis de los elementos químicos de la madera de *Pinus leiophylla*, *Pinus michoacana*, *Pinus . montezumae*., *Pinus oocarpa* y *Pinus Teocote*, estas especies al ser de tipo coníferas muestran contenidos de fósforo entre 2,0 y 3,0%, y de azufre entre 1,4 y 6,2% superiores al reportado por la madera de tipo latifoliada del roble *Q. humboldtii*., donde el fósforo con un 0.01% y de azufre con un 0.02%, coincidiendo con lo expuesto por Klinger (2002).

Debido a la marcado uso dendroenergético de subsistencia y el escaso mejoramiento de los hornos, reportado por el DANE (2013), donde estufas mejoradas en Colombia solo ha cubierto un 2% frente al potencial de 1,6 millones de familias que usan leña, y donde su principal problema es la baja eficiencia, la cual oscila entre el 5% y el 15% (Dutt *et al*, 1987) hace que el contenido de azufre y fósforo (**Tabla 10**), en un proceso de combustión

al transformarse químicamente en formas más simples y volátiles, y presentando valores muy bajos respecto a las diferentes variedades de pino, este pueda contribuir a que la contaminación por emisiones atmosféricas y los riesgos de salud por exposición a la combustión, sean mitigados al elegirse este tipo de madera que en comparación de otras especies con contenidos más elevados de como es el caso del pino *Pinus sp.*

Por otra parte el análisis de contenido de minerales en madera de esta especie hace valido la gran facilidad que tiene para adaptarse a diferentes condiciones edafológicas, (Orwa *et al* ,2009), (Gómez y Toro, 2007), que en muchos casos, el lugar de establecimiento de este árbol no son las más adecuadas.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

Tabla 11. Análisis estadístico, con tres diferentes tratamientos y en pruebas de flexión estática.

TRATAMIENTO	COTA DE FLEXIÓN	MOR	MOE	COTA DE TENACIDAD
Seco al aire	17,83 A	1713,43 A	1,51 B	1,45 A
Seco al Horno+ Agua	11,57 B	1528,31 B	3,1 A	1,45 A
Seco al aire + Agua	8,89 C	1303,39 C	0,01 C	1,42 B

Fuente: Esta investigación.

El análisis de varianza en cota de flexión con un p valor de 0,1680 indica que no se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al aire con promedio de 17,83 kg /cm² fue mayor que el seco al horno y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El análisis de varianza del MOR (Modulo de ruptura), con un p valor de 0,1680 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al aire con promedio de 1713,43 kg /cm² fue mayor que el seco al horno y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El análisis de varianza del MOE (Modulo de elasticidad), con un p valor de 0,0001 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al horno con promedio de 3,1 kg /cm² fue mayor que el seco al aire y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El análisis de varianza en cota de tenacidad con un p valor de 0,3771 indica que se presentaron diferencias significativas, donde el tratamiento de secado al horno con promedio de 1,45 kg /cm² fue mayor que el seco al aire y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

Tabla 12. Análisis estadístico, con tres tratamientos diferentes y aplicados a Compresión paralela.

TRATAMIENTO	FC,LP	RC	MOEC
Seco al Horno+ Agua	91,97 A	124,74 A	0,44 A
Seco al aire	83,75 A	101,42 B	0,25 B
Seco al aire + Agua	60,83 B	84,69 C	0,22 B

Fuente: Esta investigación.

El análisis de varianza en Fc, lp (carga al límite de proporcionalidad), con un p valor de 0,0042 indica que se presentaron diferencias significativas, donde el tratamiento de secado al aire es mayor con promedio de 91,97 kg/cm² y este a su vez mayor estadísticamente que seco al aire y agua con un promedio de 83,59 kg/cm² y seco al horno más agua.

El análisis de varianza en Rc (Tensión máxima), con un p valor de 0,0001 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al aire con promedio de 124,74 kg /cm² fue mayor que el seco al aire más agua y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al horno y agua.

El análisis de varianza en MOEc (Modulo de elasticidad), con un p valor de 0,0001 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al aire con promedio de 0,44 kg /cm² fue mayor que el seco al horno y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

Tabla 13. Análisis estadístico, con tres tratamientos diferentes y aplicados a Compresión perpendicular.

TRATAMIENTO	FC,LP		RC	MOEC
Seco al aire	154,4	B	162,07 B	0,21 A
Seco al Horno+ Agua	215,15	A	216,13 A	0,2 B
Seco al aire + Agua	141,02	C	141,02 B	0,2 B

Fuente: Esta investigación.

El análisis de varianza Fc,lp (Tensión unitaria), con un p valor de 0,0004 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al horno con promedio de 215,15 kg /cm² fue mayor que el seco al aire y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El análisis de varianza Rc (Tensión máxima), con un p valor de 0,0005 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al horno con promedio de 216,13 kg /cm² fue mayor que el seco al aire y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El análisis de varianza MOE (Modulo de elasticidad), con un p valor de 0,0035 indica que se presentaron diferencias altamente significativas, donde el tratamiento de secado al aire con promedio de 0,21 kg /cm² fue mayor que el seco al horno y éste a su vez mayor estadísticamente que el seco al aire y agua.

El agua es el vehículo de transporte que emplean las plantas para su alimentación, de modo que las células que la constituyen se encuentran saturadas de agua. El cambio acelerado de las condiciones a las que fueron sometidas las probetas en el proceso de secado, ocasionó un debilitamiento de las estructuras anatómica, lo cual incidió en la resistencia y obviamente en el resultado de los ensayos. En general los fenómenos de sorción y desorción de agua en la madera varían mucho por el clima, la edad de la madera, las condiciones de la misma, es decir existe cierta resistencia a la variación de la humedad al cambiar las condiciones del medio ambiente (Pino, et al., 2007).

Finalmente, la humedad máxima de imbibición que puede absorber la madera, aunque varié según las especies, se fija industrialmente en un 28%, por el contrario, el agua máxima que puede tener la madera, o sea agua de constitución más agua de imbibición más agua libre, puede llegar hasta el 200%, por eso es de gran importancia el tipo de

secado al que se somete las maderas, ya que como vimos en las tablas anteriores, un mal secado influye en su rendimiento mecánico (Virgote y Martínez, 2006).

PROPUESTA AGROFORESTAL

Considerando que la madera del roble *Q. humboldtii* presenta características para aprovechar en la industria de la construcción, por poseer una densidad pesada, alta resistencia, alta rigidez ($1667,75 \text{ Kg/cm}^2$), es adecuado recomendar la implementación de arreglos en cercas vivas y restauraciones ecológicas, en las áreas que se determinen como susceptibles de aprovechamiento forestal de los bosques de robles, el uso integral y diversificado del bosque es uno de los principios de la silvicultura moderna que deben considerarse, debido a que busca hacer más eficiente el aprovechamiento y no sobrepresionar las poblaciones de *Quercus humboldtii* (Avella y Cárdenas 2010).

Según Pacheco y Pinzón (1997), la madera tiene gran resistente a la pudrición en contacto con el suelo, lo cual reduce las perdidas por aprovechamiento comercial en la industria de la madera de construcción.

Gómez y Toro (2007), reportan el roble *Q. Humboldtii*, como una especie heliófita y de alta competitividad, por eso, no es recomendable en el uso de esta especie en sistemas agroforestales donde se hallen cultivos y pasturas que requieran alto brillo solar, sin embargo existen experiencias positivas en la caficultura del país, donde el roble *Q. Humboldtii*, Castro et al, (2012) y (Farfán, 2012), reportan que esta especie constituye un sistema de sombrío de utilidad para incorporarse como componente arbóreo en cafetales. Lo anterior, permite apoyar alternativas productivas donde se amortiguará las necesidades económicas del productor, respecto al tiempo requerido para aprovechar la madera del roble.

Es de resaltar que, en investigaciones recientes, el *Q. humboldtii* está presente en alturas entre los 750 y 3400 msnm estando distribuido en 18 departamentos de Colombia donde persistente la especie (Avella y Cárdenas 2010), con su poca exigencia en aireación de las raíces lo hace compatible con terrenos muy compactos y su tolerancia a la inundación temporal. (Lozano y torres, 1974), concibe que esta especie pueda adecuarse a diferentes condiciones biofísicas donde podrá tener una gran adaptación y sobrevivencia para su aprovechamiento maderero.

Lozano y torres (1974) y Pacheco y Pinzón (1997), reportan que a pesar de su lento crecimiento alcanza alturas de 40 m y DAP entre 40 a 70 m, características que permiten tener volúmenes de madera comercial rentables, los cuales pueden ser constantemente aprovechados debido a su longevidad que puede llegar a los 80 años (Alcaldía de Bogotá, 2010).

Cabe destacar de la especie que según Farfán (2012), posee una capacidad defensiva en las heladas tardías, por el retraso de su brote y foliación y de alta competitividad. Como especie heliófita y de gran dominancia anteriormente citada, Lozano y Torres, (1974), consideran que las cercas vivas implementadas cada 2 m a 3 m, son una fuente de madera comercial, que además proporciona el nicho ecológico temporal a diferentes clases de flora y fauna autóctona, y prestara una gama integral de bienes y servicios ambientales, como también será útil en la delimitación del terreno, donde gracias a su copa densa y de permanencia semiperenifolia le permiten ser un regulador climático de gran capacidad (Gómez y Toro, 2007).

Debido a procesos antrópicos por diversas actividades agropecuarias en diferentes áreas ribereñas de nuestra región y el país, Farfan (2012), Gomez y Toro, (2007) OPEPA (2015), recalcan al roble *Q. humboldtii* como un recurso forestal estratégico para la restauración y preservación de estos ecosistemas. Establecerlo como arreglo agroforestal en cercas vivas dentro de estas áreas, permite solventar de las actuales demandas productivas de las comunidades rurales responsables, mientras cumple funciones de bienes y servicios ambientales, mitigando temporalmente el impacto sobre estas áreas de vital importancia.

CONCLUSIONES

Las características observadas en las propiedades físicas y mecánicas reportan una madera de densidad pesada, alta resistencia, gran capacidad de rigidez ($1667,75 \text{ Kg/cm}^2$), y buena flexión estática en su MOE ($2,15 \text{ Kg/cm}^2$), la cual le atribuye un rasgo especial y de preferencia frente a otras especies, donde se podrá definir su uso en la industria de la construcción de estructuras que soportan grandes cargas.

Teniendo en cuenta la densidad de la madera de roble *Q. humboldtii*, se pudo observar que al ser secada al aire requiere de largos periodos de tiempo, y ciertas condiciones ambientales que garanticen un secado constante.

Gracias al alto poder calorífico de la madera, esta puede recomendarse para su uso dendroenergético, sin embargo, se requiere de la ampliación de áreas de esta especie para no intervenir los actuales bosques que se encuentran en protección y en veda.

Considerando la capacidad de la madera del roble *Q. humboldtii*, en la industria de la construcción pesada y debido a las características propias de la especie forestal, su implementación es factible en sistemas agroforestales, donde el roble *Q. humboldtii* se proponga en sistemas agrosilviculturales agrosilvícolas y silvopastoriles bajo arreglos de cercas vivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDIER, Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral. 2013. Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. 12p.

AIFBN, Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo, 2008. Usar leña conservando el bosque y contaminando menos. En http://www.mariablender.com/Manual_Lenito.pdf. 5-6 p.

Alcaldía de San Juan de Pasto 2003. Proyecto Código Periferia Urbana. En: http://www.revistaescala.com/attachments/197_7.%20Diagnostico%20Centros%20Poblao%20amr.pdf consulta Septiembre del 2014. 27 p.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2010. Arbolado Urbano de Bogotá, identificación, descripción y bases para su manejo. En <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/126778/Arbolado1.pdf?version=1.1.>, consulta: Octubre del 2015. 376-377 p.

ARÉVALO, R. y LONDOÑO A. 2005. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. Ibagué. Impresiones Conde. 49-52 P.

ARISTIZÁBAL J. 2010. Estufas mejoradas y bancos de leña: una alternativa de autoabastecimiento energético a nivel de finca para dependientes de los bosques de roble de la cordillera oriental. *Revista Colombia Forestal*, 13(2), 245-256 p.

AVELLA A. y CÁRDENAS L. 2010. Conservación y uso sostenible de los bosques de roble en el corredor de conservación Guantiva - La Rusia - Iguaque, Departamentos de Santander y Boyacá, Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 13(1), 5-25 p.

ÁVILA L. BERNABÉ R. GUADALUPE J. 2013. Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. *Revista Madera y Bosques* 19(2), 21-35 p.

BECERRA, Jorge E. Estructura y Crecimiento de un Bosque Secundario de Roble. En *Revista Colombia Forestal*. Vol.3. N° 3 septiembre de 1989. Centro de Investigaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Santa Fe de Bogotá (Colombia), septiembre de 1989. 64 p.

CALDERÓN, E. 2001. Plantas colombianas en peligro, extintas o en duda. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander Von Humboldt. 143-146 p.

CÁRDENAS D. SALINAS N. 2007. Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: primera parte. Serie de libros rojos de especies amenazadas en Colombia Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MVDT. NR, editores. Bogotá. 15-20 p.

CASTRO-TANZI, S.; DIETSCH, D.; URENA, N.; VINDAS, L. y CHANDLER, M. 2012. Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazú, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* . 172-181 p.

CORDOBA, F. R. 2005. Conceptos básicos sobre el secado de la madera. Kurú: Revista Forestal. Costa Rica. PGS: 3-4.

CORMA. 2003. Centro de transferencia tecnológica pino radiata. Compendio de directrices para enseñanza en ingeniería. Chile. s. e. 272 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA (CRC). 2005. Manual de identificación de especies maderables comercializadas en el departamento del Cauca. Popayán. . ISBN: 958-33-8729-0. 91 p.

DIAZ, P. 2005. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Tesis de grado (Ingeniero en industrias de la madera). Escuela de Ingeniería en Industria de la Madera. Chile. 7 p.

DUTT, G. NAVIA J. SHEINBAUM C. 1989. Cherañátzicurin: tecnología apropiada para cocinar con leña. Ciencias, No. 15. 43-47 p.

ETTER, A. MACALPINE C. PULLAR D. POSSINGHAM H. 2006. Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of Environmental Management* 79: 74-87.

FARFAN VALENCIA F. 2012. Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales. Consultado el 14 de Octubre del 2015. En: CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café) <http://www.cenicafe.org/es/publications/Arboles.pdf>, consulta: Octubre del 2015. 66-68 p.

FERNÁNDEZ, A. 1977. The preparation of the endangered species list of Colombia. *Extinction is forever*. G. T. Prance and T. S. Elias. New York (USA): New York Botanical Garden.

GALINDO T. BETANCUR J. CADENA M. 2003. Estructura y composición florística de cuatro bosques andinos del Santuario de Flora y Fauna Guanentá-Alto Río Fonce, cordillera Oriental colombiana. *Revista Caldasia*. 25 (2): 313-335.

GÓMEZ D, J. D., MONTERROSO R, A. I., TINOCO R, J. A., y ETCHEVERS B, J. D. 2012. Almacenes de carbono en el piso forestal de dos tipos de bosque. Consultado el 21 de Octubre del 2015 Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/573/57324446009.pdf>.

GÓMEZ R. TORO M. 2007. Manejo de las Semillas y la Propagación de Diez Especies Forestales del Bosque Andino. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA. *Boletín Técnico Biodiversidad* No.1. 61-71 p.

GONZÁLEZ A, PARRADO A. 2010. Diferencias en la producción de frutos del roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en dos bosques andinos de la cordillera oriental colombiana. *Revista Colombia Forestal*, Vol 13(1), 141-162 p.

GONZÁLEZ, C. E.; ANDY J. y PALACIOS J.D. 2006 Biogeography of the Colombian oak, *Quercus humboldtii* Bonpl: geographical distribution and their climatic adaptation. *International Center for Tropical Agriculture*. 34-36 p

HERRERA, F. ARANGO A. CANO J. 2004. Estudio de Propiedades físico-mecánicas trabajabilidad y secado de la madera Teca. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. 22-38 p.

KLINGER W. .2002. Combustibilidad de la madera. La experiencia con especies colombianas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. 37-39p

KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Tomo I. Instituto Forestal de Investigación y Experimentación y el servicio de la madera INFIE, Madrid, España. 143146 p.

LOZANO G. y TORRES J. 1974 Aspectos generales sobre la distribución, sistemática, fitosociológica y clasificación ecológica de los bosques de Roble (*Quercus*) en Colombia. *Ecología Tropical* Vol.1 (2): 52 – 70 p.

MAVD (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) 2006. Resolución Número 096 del 20 de Enero de 2006. Bogotá.

MELISSARI B. 2012. Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa, Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, núm. 10: 69 p.

MEZA S. R. Importancia y prácticas de sistemas agroforestales. 2003. En INIFAP. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201617/Guias_y_rubricas_2013-. 2 p.; consulta: Septiembre 2015.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVD. 2006. Resolución número 096 del 20 de Enero de 2006. Bogotá D.C.

MINAMBIENTE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña en MINAMBIENTE https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/mitigacion_/LINEAMIENTO_S_ESTUFAS_MEJORADAS_PARA_COCCI%C3%93N_CON_LE%C3%91A.pdf, consulta: Noviembre 2015. Bogotá D.C. 27-28, 39 p

MONTERO. D. 2014. Análisis de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el Municipio de Olaya Herrera del Departamento de Nariño, San Juan de Pasto, Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño (PERS-Nariño). 19 p.

MUÑOZ D. CALVACHE A. YELA J. 2013. Especies forestales con potencial agroforestal para las zonas altas en el Departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas* 29 (1) 38 53p.

NTC, 2500. Ingeniería civil y arquitectura uso de la madera en construcción. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC) Bogota D.C. 6 - 36 P

OPEPA, Organización para la educación y protección ambiental) 2015. Roble *Quercus humboldtii*. En: OPEPA http://www.opepa.org/index.php?option=com_content&task=view&id=462&Itemid=30. J; consulta: Julio del 2015.

ORWA C, MUTUA A , KINDT R , JAMNADASS R, SIMONS A. 2009 *Quercus humboldtii*; En: http://www.worldagroforestry.org/treedb2/AFTPDFS/Quercus_humboldtii.PDF, consultado: Noviembre del 2015.

PACHECO, R. PINZÓN C. 1997. Notas divulgativas: el Roble (*Quercus humboldtii* Bonpland). Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mútis. Bogotá.

- PINO, R. A. AGUILERA V.Y. POLANCO T. 2007. Influencia del contenido de humedad de equilibrio en absorción y desorción sobre la dureza de cuatro especies maderables plantadas en Colombia. Revista Colombia Forestal Vol. 10 No. 20
- RONDÓN. G. 1989. Maderas de la región Nariño- Putumayo. Universidad de Nariño-Sena. Facultad de Ingeniería. Nariño. 38-50 p.
- SEPÚLVEDA Y. L; DIEZ M. C; MORENO F. H; LEÓN J. D; OSORIO N.W. 2014. Efectos de la iluminación relativa y la fertilización sobre el crecimiento de plántulas de roble andino en vivero. Acta Biológica Colombiana, Vol 19(2), 211-220 p.
- SOLIS. K. 2014. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados durante la elaboración de papel Kraft en papelera Nacional S.A. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA. Guayaquil, Ecuador.36 -50p.
- VELIS. J. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de híbridos de populus (I-488, I- 63/51). Facultad de ciencias forestales. Escuela de ingeniería forestal. Talca Chile. Universidad de Talca, escuela en ingeniería de la madera. 35-68 p.
- VIGNOTE P. S. MARTÍNEZ R. 2006. Tecnología de la madera. Mundi-Prensa Libros. 3644-47p.