

## Thermal and Mechanical Characterization of Oak Wood

### Caracterización Térmica y Mecánica de la Madera de Roble

J. Martínez<sup>1,2</sup> M. F. Bustamante<sup>1</sup> P. Salazar<sup>1</sup> J. Macias<sup>2</sup> A. P. Lobato<sup>2</sup>  
R. A. Narváez C.<sup>2</sup> M. Cordovez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK (UISEK). Campus Miguel de Cervantes, Quito, Ecuador  
E-mail: javier.martinez@uisek.edu.ec; mario.bustamante@uisek.edu.ec; paolo.salazar@uisek.edu.ec

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), Quito Ecuador  
E-mail: javier.martinez@geoenergia.gob.ec; andrea.lobato@geoenergia.gob.ec;  
ricardo.narvaez@geoenergia.gob.ec; martin.cordovez@geoenergia.gob.ec; jose.macias@geoenergia.gob.ec

#### Abstract

The purpose of this research is to improve building living conditions and energy consumption, promoting new regulations and policies that promote construction, guaranteeing thermal comfort and mechanical design in buildings. For this, the thermal and mechanical tests of the oak, from the Costa region (Manabí and El Oro) and Sierra (Loja), from Ecuador, were evaluated. In this study, characterization was carried out using thermal conductivity, moisture content tests, and tensile, flexural, parallel and perpendicular compression tests, applying International and National standards. The results of the thermal test of the samples of the oak hardwood show that in 88.9 % of specimens the thermal conductivity has to be between the range of 0.16 and 0,19 (W/m K). These values correspond to the ASTM-C177 standard.

**Index terms**— thermal comfort, wood, oak, construction, buildings.

#### Resumen

En esta investigación tiene por objeto mejorar las condiciones de habitabilidad y consumo de energía en edificaciones. Promoviendo nuevos reglamentos y políticas que impulsen la construcción garantizando confort térmico y el diseño mecánico en el sector de la construcción. Para ello, se evaluaron los ensayos térmicos y mecánicos del roble, de la región Costa (Manabí y El Oro) y Sierra (Loja) de Ecuador. En este estudio se realizó la caracterización térmica mediante conductividad térmica, contenido de humedad y caracterización mecánica, mediante ensayos de resistencia a la tracción, a la flexión, a la compresión paralela y perpendicular a la fibra de la madera, aplicando normas Internacionales y Nacionales. Los resultados del ensayo térmico de las probetas de la madera dura roble muestran que en el 88.9 % probetas la conductividad térmica se encuentra en el rango de 0,16 y 0,19 (W/m K). Estos valores se corresponden con la norma ASTM-C177.

**Palabras clave**— confort térmico, madera, roble, construcción, edificaciones.

Recibido: 29-05-2019, Aprobado tras revisión: 17-07-2019

Forma sugerida de citación: Martínez-Gómez, J; Bustamante-Crespo, M. F; Salazar, P; Lobato-Cordero, A; Narváez R.; Macias, J; Cordovez-Dammer, M. (2019). "Caracterización Térmica y Mecánica de la Madera de Roble como Insumo para el Diseño por Confort Térmico". Revista Técnica "energía". No. 16, Issue I, Pp. 82-90

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda en el uso de materiales sostenibles, eficaces y que sean duraderos, pero al mismo tiempo respetando al medio ambiente, considerando que se fabrican a partir de recursos naturales, se ha convertido en una exigencia progresiva de la sociedad. Es así que hoy en día se busca materiales de rápida renovación para la construcción teniendo como uno de los principales objetivos del diseño sostenible la transformación del proceso lineal en la industria de la construcción a un proceso cíclico en que los productos y los materiales puedan ser reutilizados, recuperados y reciclados. Entre los materiales de rápida renovación están: Caña, Linaza, Soja, Álamo, Coco, Girasol, Corcho, Caucho, Lana, Bambú, Algodón, Agro-fibras. El cáñamo tiene múltiples usos por su resistencia superior a otras agro-fibras, en algunas aplicaciones in-situ en la construcción en se combina con cal para enlucidos y losas de hormigón. La soja se utiliza como aislamiento térmico en espuma proyectada (poliuretano ecológico) compuesta por plástico reciclado y aceite de soja [1, 2].

Uno de estos materiales sostenibles es el roble. El término roble se utiliza para referirse a muchas especies de árboles del género *Quercus*, nativo del hemisferio norte, y ocasionalmente también a especies de otros géneros de la misma familia (*Fagaceae*) o incluso de otras familias, como en el caso de algunas especies sudamericanas de *Nothofagus* (fam. *Nothofagaceae*) [3].

La madera de roble presenta la fibra recta, el grano grueso y en ella se puede distinguir claramente la albura del duramen. El serrado es difícil pero el desgaste de las sierras es normal. El secado debe ser lento y delicado, ya que existe el riesgo de que aparezcan fendas superficiales. Esta madera es durable contra la acción de los hongos, pero sensible a los anobios, líctidos y ceramícidos, y medianamente durable a las termitas [4].

El roble presenta buenas aptitudes para la obtención de chapa a la plana si se vaporiza previamente, y no presenta problemas para el encolado. La madera de esta especie de roble se utiliza en carpintería interior, mobiliario, traviesas y obras hidráulicas, y antiguamente fue muy utilizada en catedrales góticas y en construcción naval. También es una madera que se emplea en botería para elaborar vino de calidad, siendo equiparable a los robles de procedencia francesa o americana [5].

La madera presenta defectos y cambios de propiedades con la humedad [3]. Es por ello que es necesario la caracterización mecánica y térmica de esta serie de materiales, para saber con seguridad sus propiedades. La realización de gran número de ensayos permite determinar con exactitud las propiedades de la madera y, al mismo tiempo, conocer el comportamiento de la variabilidad. Desde un punto de vista tecnológico

esto nos permite controlar mejor las propiedades del material y diseñar procesos productivos para obtener productos de calidad homogénea.

La dureza, la higroscopicidad, la contracción volumétrica y el coeficiente de contracción volumétrica generalmente son las propiedades con mayor variabilidad, por lo que hay que tenerlo en cuenta en la caracterización [3].

El presente estudio tiene por objeto la caracterización térmica y mecánica de roble de las provincias de Loja, Manabí y el Oro. Los resultados se han obtenido mediante un análisis estadístico; ensayos térmicos y mecánicos realizados con probetas del material libre de defectos y bajo normas internacionales ASTM, ISO y normas nacionales INEN.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se van a exponer la metodología de ensayo de la conductividad térmica, contenido de humedad, y la caracterización mecánica, que incluyen la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la madera, compresión perpendicular a la fibra de la madera, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción.

Se realizaron ensayos térmicos y mecánicos con probetas de madera dura roble. Para la madera dura roble se lo obtuvo de tres diferentes provincias del Ecuador de la región Costa: Manabí, El Oro y de la Región Sierra: Loja ya que su habita se encuentra en hondonadas de bosque seco. Crece entre los 0-500 msnm [6].

Para la adquisición del Roble se tuvo que hacer un sondeo en las diferentes regiones del país dando como resultado la adquisición de ejemplares en los distintos aserraderos de la región costa: El Oro, Manabí y de la región sierra Loja. Para los ensayos térmicos se utilizaron 9 probetas: 3 probetas de El Oro, 3 probetas de Manabí y 3 probetas de Loja. Para los ensayos mecánicos se necesitaron 60 probetas las cuales se dividieron para los diferentes ensayos de Compresión Paralela, Compresión Perpendicular, Flexión y Tracción, de tal forma que se utilizaron 5 para cada ensayo.

A continuación, se detalla la metodología de ensayo:

### 2.1. Ensayos térmicos

Para poder medir los ensayos de conductividad térmica del roble se utilizó la máquina térmica de placa caliente del laboratorio de ensayos térmicos y eficiencia energética de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL),  $\lambda$ -Meter EP500e, Versión C de medición de conductividad.

La ecuación del flujo de calor se calcula con:

$$q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad (1)$$

$q$  = Rapidez del flujo de calor a través del espécimen (W)

$k$  = Condición de conductividad térmica 0,01 a 1,00 (W/m °K)

$A$  = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas a través del espécimen (°C o °K)

$d$  = Espesor de la muestra (m)

Los ensayos para la determinación de conductividad térmica se basan en la norma ISO 8302 (1991) por el método de placa caliente resguardada, las muestras deben ser de composición homogénea con un área de 150 x 150 mm<sup>2</sup>, espesores de 10 mm hasta 200 mm. Los ensayos se ejecutan a temperaturas entre -10 °C hasta 50 °C este procedimiento permite medir rango de conductividades de 0,002 a 2,5 W/ m ° K [7] y ASTM-C177 [8]. Para poder realizar los ensayos térmicos se necesitaron 9 probetas de madera dura roble, previamente se debe mantener las probetas en un cuarto con humedad y temperatura controlada de 23 °C por un periodo de 24 horas. Después de haber transcurrido el tiempo necesario de acondicionamiento se procede a tomar las medidas con balanzas de precisión de ± 0,05 g.

Se verifica con instrumentos de precisión que la muestra cumpla la normativa ISO 8302, a continuación, se toman 5 medidas de la probeta para tener un promedio o media aritmética, después se cubren las probetas de la madera dura roble con plástico de polipropileno posteriormente se coloca encima de la muestra gel ultrasónico evitando espacios de vacío.

## 2.2. Ensayos de contenido de humedad (CH)

Para los ensayos de Contenido de Humedad (CH) de la madera dura roble se los realizo bajo la norma ASTM D4442 [9] y NCh176/1 [10], el agua está presente en la madera de tres formas: higroscópica o fija, agua libre y agua de constitución. El contenido de humedad es el porcentaje en peso que tiene el agua libre más el agua molecular con respecto al peso de la madera seca o anhidra.

**Tabla 1: Características de la muestra de madera dura roble para el análisis según norma ASTM D4442 [9]**

Ensayo	Dimensiones (mm)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Horno (°C)	Tiempo Secado (horas)
CH	25,4*25,4*10 1,6	20 ± 2	103 ± 2	24

La ecuación de contenido de humedad de la madera dura roble se calcula con:

$$CH = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100\% \quad (2)$$

CH= Contenido de Humedad expresado en %

Ph= Peso de la madera en su estado húmedo inicial

Ps= Peso de la madera en estado anhidro peso final

Para determinar el peso de la madera en su estado húmedo inicial (Ph) se lo realiza con una balanza de apreciación de ±0,5 mg marca OHAUS modelo PA 214-8033041136.

Posteriormente se ingresan las probetas en el horno de secado para la madera dura a una temperatura de 103 °C ± 2 °C equipos de la Universidad Internacional SEK (UISEK) marca DAIHAN SCIENTIFIC modelo WOF 105- 0409303119D006.

Después de las 24 horas según norma ASTM D4442 [9] determinar el peso de la madera en estado anhidro peso final (Ps).

## 2.3. Caracterización de propiedades mecánicas

Para los ensayos mecánicos se utilizó la maquina universal electro-hidráulica de la UISEK la cual genera una fuerza máxima de 600 KN

Los resultados de los ensayos de este proyecto de investigación nos dan una curva de esfuerzo vs. deformación o carga vs. desplazamiento.

Para los ensayos mecánicos a la compresión paralela, compresión perpendicular, flexión y tracción se los realizo bajo la norma ASTM D143-14 [11] y NCh176/1 [10].

### 2.3.1 Compresión

La resistencia a la compresión perpendicular a la fibra de la madera dura del roble corresponde a la resistencia que opone la viga de 50x50x150 mm<sup>3</sup>, a una velocidad de carga aplicada de 0,31 mm/min en sentido perpendicular a la dirección de las fibras.

La ecuación de la resistencia máxima se calcula con:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{S} \quad (3)$$

$\sigma_{max}$ = Resistencia máxima (MPa)

$P_{max}$  = Carga necesaria hasta penetración de 2.5 mm (N)

$S$  = Área de contacto por la placa de acero sobre la superficie del espécimen (mm<sup>2</sup>).

Al resultado final se le realizó una media aritmética para tener un resultado con el que comparar. A los resultados de los ensayos de compresión con los de la norma ASTM D143-14 [11].

### 2.3.2 Flexión

El ensayo de Flexión se produce cuando la viga de 50x50x760 mm<sup>3</sup> con luz de flexión de 710 mm es sometido a la aplicación de cargas transversales en su eje longitudinal a 2,50 mm/min.

El módulo de elasticidad en el límite proporcional se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{P_2 \cdot L^3}{4 \cdot d_1 \cdot b \cdot h^3} \quad (4)$$

E = módulo de elasticidad (MPa)

P<sub>2</sub> = Carga límite de proporcionalidad (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

d<sub>1</sub> = Deformación del espécimen en el límite de proporcionalidad (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

EL esfuerzo unitario para el límite de proporcionalidad se calcula con la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot P_2 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (5)$$

σ<sub>max</sub> = Esfuerzo máximo a flexión (MPa)

P<sub>2</sub> = Carga límite de proporcionalidad (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Base de la probeta (mm)

h = Altura de la probeta (mm)

Al resultado final se le realizó una media aritmética para tener un resultado con el que comparar. A los resultados de los ensayos de flexión con los de la norma ASTM D143-14 [11], que especifica que debe de tener unos valores de la menos 75 MPa.

### 2.3.3 Tracción

El ensayo de tracción es la fuerza que realiza la viga de 25x25x460 mm<sup>3</sup>. El resultado del ensayo da lugar a una tensión que se calcula con:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad (6)$$

σ<sub>1</sub> = Esfuerzo (MPa)

P = Carga límite de proporcionalidad (N)

A = Área en la sección mínima de la probeta (mm<sup>2</sup>)

La ecuación del esfuerzo unitario máximo se calcula con:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (7)$$

σ<sub>max</sub> = Esfuerzo máximo (Mpa)

P<sub>max</sub> = Carga máxima (N)

A = Área de la sección mínima de la probeta (mm<sup>2</sup>)

Al resultado final se le realizó una media aritmética para tener un resultado con el que comparar. A los resultados de los ensayos de tracción con los de la norma ASTM D143-14 [11], que especifica que debe de tener unos valores de la menos 165 MPa.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se van a exponer los resultados de la conductividad térmica, contenido de humedad, y los resultados de caracterización mecánica, que incluyen la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la madera, compresión perpendicular a la fibra de la madera, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción. A continuación, se va a exponer cada uno de estos resultados.

### 3.1. Resultados de conductividad térmica

La Tabla 2, muestra los resultados del ensayo térmico de las 9 probetas de la madera dura roble. Los resultados del ensayo térmico de las probetas de la madera dura roble muestran que en ocho de las nueve probetas la conductividad térmica tiene que estar entre el rango de 0,16 y 0,19 (W/m K). El rango definido para que cumpla las condiciones el ensayo es de 0,16 y 0,19 (W/m K) según la norma ASTM-C177. El Ensayo 2 no cumple la norma la conductividad térmica es de 0,142 W/ m K establecida en los valores de la norma ASTM-C177.

Tabla 2: Resultados de los ensayos de conductividad térmica de la madera dura roble

Provincia	No. Probeta	Código	Conductividad Térmica (W/mK)	Cumple la norma ASTM-C177
El Oro	1	1802001	0,176	SI
	2	1802002	0,142	NO
	3	1802003	0,169	SI
Manabí	4	1802004	0,174	SI
	5	1802005	0,181	SI
	6	1802006	0,168	SI
Loja	7	1802007	0,168	SI
	8	1802008	0,174	SI
	9	1802009	0,176	SI

### 3.2. Resultados de contenido de humedad (CH)

La Tabla 3, muestra los resultados del ensayo de CH de las 15 probetas de la madera dura roble. En el caso del contenido de humedad, ninguna de las probetas de la madera dura roble supera el 30 % según lo establecido en la norma ASTM D4442 [9] y la norma chilena NCh176/1 [10]

Tabla 3: Resultados de los ensayos de Contenido de Humedad de la madera dura roble

Provincia	No. Probeta	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	CH (%)	Cumple la norma ASTM D4442
El Oro	1	64,08	52,33	22,45	SI
	2	65,50	53,01	23,56	SI
	3	64,76	55,00	17,74	SI
	4	60,24	48,24	24,87	SI
	5	66,56	53,08	25,39	SI
Manabí	6	64,33	53,98	19,17	SI
	7	64,14	54,50	17,68	SI
	8	63,70	54,59	16,68	SI
	9	61,15	52,15	17,25	SI
	10	65,65	53,91	21,77	SI
Loja	11	66,25	54,44	21,69	SI
	12	65,33	53,52	22,06	SI
	13	67,63	55,08	22,78	SI
	14	67,06	56,09	19,55	SI
	15	67,05	55,17	21,53	SI

### 3.3. Resultados de la caracterización mecánica

#### 3.3.1 Resultados de compresión paralela a la fibra

La Tabla 4, muestra los resultados del ensayo de compresión paralela de la madera dura roble teniendo una media del módulo de elasticidad de 8241,113 Mpa y esfuerzo máximo de 350,179 MPa. Se observa en la tabla que los valores del módulo de elasticidad son superiores en el caso del roble que proviene de la provincia de Loja. En el caso de la provincia del oro el 40 % de las probetas no cumplieron con los resultados según la norma ASTM D143 [11].

**Tabla 4: Resultados de los ensayos de compresión paralela del roble, según ASTM D143-14 [11]**

Provincia	No. Probeta	Carga (KN)	Modulo Elasticidad (GPa <sup>2</sup> )	Cumple la norma ASTM D143-14
El Oro	1	86,5	92848,19	SI
	2	85,6	99757,75	SI
	3	85,3	72485,10	NO
	4	85,2	72400,12	NO
	5	86,67	86223,54	SI
Manabí	6	88,5	92559,20	SI
	7	89,2	113698,78	SI
	8	90,0	118419,10	SI
	9	89,6	91366,91	SI
	10	91,6	128864,48	SI
Loja	11	88,53	171953,93	SI
	12	90,21	193660,93	SI
	13	89,06	151360,44	SI
	14	90,4	167604,89	SI
	15	89,31	191728,83	SI

**Tabla 5: Resultados de los ensayos de compresión perpendicular de la madera dura roble**

Provincia	No. Probeta	Carga (KN)	$\sigma_{max}$ (MPa)	Cumple la norma ASTM D143-14
El Oro	1	51,23	20,49	SI
	2	51,15	20,46	SI
	3	48,35	19,34	SI
	4	48,07	19,23	SI
	5	51,56	20,62	SI
Manabí	6	51,09	20,44	SI
	7	50,97	20,39	SI
	8	50,30	20,12	SI
	9	50,51	20,20	SI
	10	51,72	20,69	SI
Loja	11	50,51	20,20	SI
	12	51,06	20,42	SI
	13	50,71	19,08	SI
	14	51,72	19,49	SI
	15	51,29	20,52	SI

**3.3.2 Resultados de compresión perpendicular a la fibra**

En la Tabla 5 se muestran los resultados teniendo la media de la resistencia máxima  $\sigma_{max}$  igual a 20,11 MPa cumpliendo los ensayos la norma ASTM D143-14 [11]. En las 15 probetas ensayadas de las tres regiones la resistencia máxima (MPa) varía entre 19,08 y 20,69 MPa. Los resultados obtenidos son inferiores a la de la compresión paralela a la fibra.

**3.3.3 Resultados de flexión**

La Tabla 6 muestra los resultados de los ensayos de flexión de la madera dura roble teniendo una media del esfuerzo EMf igual a 83,74 MPa cumpliendo la norma ASTM D143-14 [11]. Los resultados obtenidos muestran como los resultados de la provincia del ORO son sensiblemente superiores a las de otras provincias. Los resultados de EMf varían entre 77,11 y 89,90 MPa.



Tabla 6: Resultados de los ensayos de Flexión de la madera dura roble

Provincia	No. Probeta	Carga (KN)	$\sigma_{max}$ (MPa)
El Oro	1	10,10	86,05
	2	10,35	88,18
	3	10,54	89,80
	4	10,18	86,73
	5	9,69	82,56
Manabí	6	10,13	86,31
	7	10,37	88,35
	8	9,05	77,11
	9	10,05	85,63
	10	9,73	82,90
Loja	11	9,28	79,07
	12	9,61	81,88
	13	9,44	80,43
	14	9,11	77,62
	15	9,90	84,35

### 3.3.4 Resultados de tracción

La Tabla 7. Muestra los resultados de los ensayos de tracción donde la probeta 8, 13 y 15 han tenido valores por debajo de los valores de referencia de la norma ASTM D143-14 [11]. En el caso de las probetas provenientes de la provincia del ORO, todas las probetas cumplen con la norma.

Tabla 7: Resultados del ensayo de Tracción de la madera dura roble

Provincia	No. Probeta	$\sigma_{max}$ (MPa)	Por encima de los valores de referencia de la ASTM D143-14
El Oro	1	191,25	SI
	2	173,54	SI
	3	177,50	SI
	4	201,88	SI
	5	202,92	SI
Manabí	6	200,63	SI
	7	192,71	SI
	8	158,13	NO
	9	167,08	SI
	10	169,38	SI
Loja	11	171,04	SI
	12	182,08	SI
	13	148,75	NO
	14	173,96	SI
	15	157,92	NO

## 4. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha realizado una caracterización para mejorar las condiciones de habitabilidad y consumo de energía, generando información sobre las características térmicas del roble al ser una madera de aplicación en la construcción. La caracterización del roble se realizó mediante ensayos de conductividad térmica, contenido de humedad y ensayos de resistencia a la tracción, a la flexión, a la compresión paralela y perpendicular, aplicando normas nacionales e internacionales

Los resultados del ensayo térmico de las probetas de la madera dura roble muestran que en ocho de las nueve probetas la conductividad térmica tiene que estar entre el rango de 0,16 y 0,19 (W/m K). Estos resultados cumplen con la norma ASTM-C177 [8]. En el caso del contenido de humedad, ninguna de las probetas de la madera dura roble supera el 30 %. Dichos resultados están en correspondencia con la norma ASTM D4442 [9]. Los resultados del ensayo de compresión paralela

de la madera dura roble tuvieron en media el módulo de elasticidad de 8241,113 MPa. Cuatro probetas no cumplieron la norma ASTM D143-14 [11], pues tuvieron valores por debajo de 7250 MPa. Los resultados de compresión perpendicular mostraron una resistencia a la flexión media igual a 20,11 Mpa cumpliendo en todos los casos la norma ASTM D143-14 [11], pues tuvieron valores por debajo de 19 MPa. Este tipo Los resultados de los ensayos de flexión de la madera dura roble tuvieron un esfuerzo en media de 83,74 MPa cumpliendo la norma ASTM D143-14 [11]. En el caso de los ensayos a tracción tres probetas no cumplieron con la norma ASTM D143-14 [11].

## AGRADECIMIENTOS

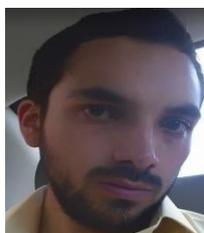
Se quiere agradecer al a Universidad Internacional SEK por su ayuda con el proyecto P041718, Selección, simulación caracterización de materiales para la industria. A su vez se quiere agradecer a la SENESCYT por su proyecto de levantamiento de laboratorio de materiales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Karsulovic, "Propiedades mecánicas de la madera". Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Departamento de Tecnología de la Madera, 1982.
- [2] M. Bustamante-Crespo, J. Martínez-Gómez, J. Macias, D. Peralta-Zurita, E Llanes-Cedeño, J. Rocha-Hoyos, J. Leguísamo, "Caracterización térmica y mecánica de madera de guayacán para uso en las construcciones de Ecuador Thermal and Mechanical Characterization of Ecuadorian Guayacán wood for using in construction". UTCiencia, vol. 5, n 2, pp. 73-87, 2018.
- [3] M. Vilches-Casals, E. Correal-Mòdol. "Caracterización físico-mecánica de la madera de roble albar, roble cerrioide y roble andaluz de Cataluña". 6º Congreso Forestal Español. SECF, pp. 1-11, 2013
- [4] M. Sánchez-Pinillos, L. Coll, M. De Cáceres, & A. Ameztegui. "Assessing the persistence capacity of communities facing natural disturbances on the basis of species response traits". Ecological indicators, vol. 66, pp. 76-85.
- [5] G. R. Muñoz, A. R. Gete, & f. P. Saavedra, "Implications in the design of a method for visual grading and mechanical testing of hardwood structural timber for assignation within the European strength classes". Forest systems, vol. 20, n. 2, pp. 235-244, 2013
- [6] MAE "ESPECIES FORESTALES DE LOS BOSQUES SECOS DEL ECUADOR" 2012 Recuperado de: [http://www.ambiente.gob.ec/wp-](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Bosques-Secos4.pdf)

[content/uploads/downloads/2012/10/Bosques-Secos4.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Bosques-Secos4.pdf).

- [7] ISO 8302 "Thermal insulation—determination of steady-state thermal resistance and related properties—guarded hot plate apparatus". International Standards Organization, Geneva, 1991.
- [8] ASTM-C177 "Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus" EEUU: ASTM, 2013 Doi: 10.1520/C0177-13.
- [9] ASTM D4442-16 "Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, Doi: 10.1520/D4442-16
- [10] NCh. 176/2. Of. "Ensayo de estabilidad dimensional en maderas Norma Chilena. Madera - Parte 1: Determinación de humedad" Chile: Instituto Nacional de Normalización. INN-Chile, 1986, Recuperado de: <http://tipbook.iapp.cl/ak/7ba2f4bd8e4ba3715cad4afabda5061914006c38/embed/view/nch176>
- [11] ASTM D143-14, "Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken", PA: ASTM International, 2014, Doi: 10.1520/D0143-14



**Mario F. Bustamante Crespo.** - Nació en Quito, Ecuador en 1995. Recibió su título de Ingeniero Mecánico y de materiales por la Universidad Internacional SEK – Chile. Sus campos de investigación están relacionados con la caracterización mecánica de materiales de construcción. Actualmente es estudiante en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK. El presente trabajo le ayudo en su tesis de pregrado.



**Javier Martínez Gómez.** - Nació en Madrid, España en 1983. Ha recibido su título de Ingeniero Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid en 2008; de Master en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid en 2010; y su título de Doctor en Ciencia de la Ingeniería de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid en 2013. Sus campos de investigación están relacionados con caracterización de materiales, menaje para cocinas para inducción, energías renovables y materiales para

paredes en reactores de Fusión. Actualmente trabaja como Docente Auxiliar Principal en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK y como investigador del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE).



**Paolo Salazar.** - Nació en Quito, Ecuador en 1974. Recibió su título de Magister en Gestión de la Calidad Y productividad de la Escuela Politécnica de Ejercito. Recibió el título de Magister en Pedagogía y Gestión Universitaria por la Universidad Internacional

SEK – Chile. Sus campos de investigación están relacionados con la caracterización mecánica de materiales. Actualmente es Docente Auxiliar Principal en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK



**José Macías.**-Nacido en Ecuador, 1986. Estudió Ingeniería Mecánica y el 2017 obtuvo su maestría en Ciencias de la Ingeniería en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil. Actualmente es Investigador Acreditado del Instituto de Investigación

Geológico y Energético (Ecuador). Actualmente sus actividades se enfocan principalmente en práctica de la eficiencia energética en edificaciones y la caracterización térmica de materiales de construcción.



**Andrea Lobato Cordero.**- Arquitecta por la Universidad Católica de Cuenca (Ecuador) con un Master en Ecodiseño y Eficiencia Energética en Edificaciones por la Universidad de Zaragoza (España). Su experiencia profesional se

desarrolla a partir de la importancia de generar espacios habitables en proyectos arquitectónicos, diseñados, planificados y construidos. Ha participado en proyectos I+D+i para mejorar las condiciones de vida de los habitantes en las edificaciones, utilizando las condiciones climáticas como eje principal dentro del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER) de Ecuador. Actualmente trabaja como investigadora en eficiencia energética en edificaciones, acreditada y categorizada por la SENESCYT, en el Instituto de Investigación Geológico y Energético IIGE; además está a cargo de la Dirección de Gestión Científica.



**Ricardo Andrés Narváez Cuenca.** - Ingeniero Químico por la Universidad Central del Ecuador, realizó un Master of Science in European in Renewable Energy y un Doctorado en la Universidad de

LOUGHBOROUGH (Inglaterra).

Sus áreas de investigación se enfocan en energía renovable, eficiencia energética, control automático, inteligencia artificial. Ha desarrollado su experiencia profesional como Coordinador General Técnico y Director Ejecutivo en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). Actualmente se desempeña como Subdirector Técnico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), además de Investigador acreditado y categorizado por la SENESCYT.



**Martin Cordovez Dammer.** - Ingeniero Industrial por la Universidad de San Francisco de Quito (Ecuador), realizó un Master of Science in Sustainable Energy Technologies and Management en Brunel University de London (Inglaterra), ha iniciado sus

estudios de Doctorado en la Universidad de Zaragoza (España). Su experiencia profesional abarca la asesoría en Energías Renovables en la Corporación para la Investigación Energética (CIE) y el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos en el Ministerio del Ambiente (MAE); ha sido Coordinador General Técnico y Director Ejecutivo en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) y posteriormente Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM). Actualmente se desempeña como Director Ejecutivo del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), además de Investigador acreditado y categorizado por la SENESCYT.