



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

División de Estudios de Posgrado



Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

Efecto de la Inmersión en Agua Caliente en las Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera de *Eucalyptus nitens* Procedente de una Plantación Forestal

Tesis

Que Para Obtener el Grado de Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta

**Ing. Juan Carlos Casimiro Cenobio**

Director

Doctor en Ciencias Raúl Espinoza Herrera

Morelia, Michoacán. Abril de 2015



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

División de Estudios de Posgrado



Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

Efecto de la Inmersión en Agua Caliente en las Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera de *Eucalyptus nitens* Procedente de una Plantación Forestal

Tesis

Que Para Obtener el Grado de Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta

**Ing. Juan Carlos Casimiro Cenobio**

Director

Dr. Raúl Espinoza Herrera

Morelia, Michoacán. Abril de 2015.

## RESUMEN

Una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales, con el objeto de producir materias primas maderables y no maderables para su industrialización y/o comercialización. Las plantaciones forestales en el mundo van en aumento. México no se queda atrás, los estados con mayores plantaciones forestales son: Veracruz, Tabasco y Campeche (60%), mientras que Michoacán representa el 3.6%. Las plantaciones comerciales producen madera muy inestable debido al rápido crecimiento del árbol generando una alta proporción de madera juvenil, trayendo como consecuencias numerosos alabeos, grietas, y altas contracciones e hinchamientos. La inmersión en agua caliente favorece un secado más fácil al liberar los conductos de salida del agua de la madera, reduciendo así los alabeos, grietas y otros defectos ocasionados por el secado, además de favorecer el aserrío y la obtención de chapa. Una de las principales especies para plantaciones comerciales es el *Eucalyptus nitens* por su resistencia al frío, rápido crecimiento, adaptabilidad a distintos sitios, y aptitud de su madera para diversos usos y aplicaciones. Sin embargo, debido a los problemas que tienen las maderas de plantaciones comerciales, el objetivo del presente trabajo es ver el efecto de la inmersión en agua caliente en la contracción, hinchamiento, absorción de agua, compresión paralela, flexión estática, dureza Janka y resistencia a la extracción de clavos de la madera de *Eucalyptus nitens* de 8 años de edad, procedente de plantación forestal comercial, en Michoacán. La madera de eucalipto, fue sometida a inmersión en agua a temperaturas de 40, 60 y 80°C con tiempos de 4, 8 y 12 horas (h). El tratamiento de inmersión no provocó cambios significativos en contracción e hinchamiento en el eje radial. Sin embargo, si afectó significativamente en el eje tangencial respecto al testigo, pasando de 5.5 a 7.6% en contracción y de 5.8 a 8.2% en hinchamiento, ambos casos bajo condiciones de 80°C y 12 h. De igual manera, la absorción de agua sufrió cambios significativos por el tratamiento de inmersión, pasando de 9.2 a 36.4% bajo las mismas condiciones. El tratamiento de inmersión también tuvo cambios significativos en los ensayos mecánicos, provocando reducción de la resistencia: en contracción disminuyó la resistencia mecánica hasta 32.3% en condiciones de 60°C y 8 h, en flexión estática hasta 45.2% en condiciones de 80°C y 8 h, en dureza longitudinal hasta 42.3% en condiciones de 80°C y 12 h, en dureza lateral hasta 38.6% en condiciones de 80°C y 12 h. La resistencia a la extracción de clavos es excelente. A pesar de que la madera aumento la contracción, hinchamiento y la absorción de agua debido al tratamiento de inmersión, esto pudiera favorecer a disminuir las deformaciones debidas al secado.

**Palabras clave:** *Eucalyptus nitens*, Contracción, Hinchamiento, Absorción de agua, Compresión paralela, Flexión estática, Dureza Janka, Extracción de clavos.

## ABSTRACT

A commercial forest plantation is the establishment and management of forest species, in order to produce wood and non-wood raw materials for industrialization and/or marketing. Forest plantations in the world are increasing. Mexico is not far behind, the states with largest plantations are: Veracruz, Tabasco and Campeche (60%), while Michoacán represents 3.6%. The commercial timber plantations produce very unstable due to rapid growth of generating a high proportion of juvenile wood tree, bringing as many consequences warping, cracking, and high contractions and swelling. The immersion in hot water promotes easier to release the water outlet pipes of wood, thus reducing warping, cracks and other defects caused by drying and would enhance the sawmill and veneer drying obtaining. One of the main species for commercial plantations is the *Eucalyptus nitens* for its hardiness, fast growth, adaptability to different sites, and suitability of its wood for various uses and applications. However, due to problems with woods commercial plantations, the objective of this work is to see the effect of immersion in hot water shrinkage, swelling, water absorption, parallel compression, static bending, Janka hardness and resistance the extraction nails of wood *Eucalyptus nitens* of 8<sup>th</sup> years old from commercial forestry plantation in Michoacán. The eucaliptus wood, was subjected to immersion in water at temperatures of 40, 60 and 80°C with times of 4, 8 and 12 hours (h). The immersion treatment did not cause significant changes in shrinkage and swelling in the radial axis. However, it significantly affected in the tangential axis with respect to the control, from 5.5 to 7.6% by contraction and 5.8 to 8.2% by swelling, both under conditions of 80°C and 12 h. Similarly, the water absorption by underwent significant changes immersion treatment, from 9.2 to 36.4% under the same conditions. Immersion treatment also had significant changes in the mechanical tests, causing reduction in strength: in contraction decreased the mechanical strength to 32.3% under conditions of 60°C and 8 h in static bending to 45.2% under conditions of 80°C and 8 h, longitudinal hardness up to 42.3% under conditions of 80°C and 12 h, side hardness up to 38.6% under conditions of 80°C and 12 h. The resistance is excellent to nail extraction. Although wood increase shrinkage, swelling and water absorption due to immersion treatment, this decrease may favor the deformations due to drying.

**Keywords:** *Eucalyptus nitens*, Shrinkage, Swelling, Water absorption, Parallel compression, Static bending, Janka hardness, Nail extraction.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. ANTECEDENTES -----	3
2.1. Madera de eucalipto de plantaciones comerciales -----	3
2.2. Permeabilidad en la madera -----	4
2.3. Inmersión en agua -----	4
2.4. Propiedades físicas -----	5
2.4.1. Anisotropía -----	5
2.4.2. Higroscopicidad -----	6
2.4.3. Contenido de humedad (CH) -----	6
2.4.4. Contenido de humedad en equilibrio (CHE) -----	7
2.4.5. Punto de saturación de la fibra (PSF) -----	7
2.4.6. Contracción e hinchamiento -----	7
2.4.7. Densidad de la madera -----	8
2.5. Propiedades mecánicas -----	8
2.5.1. Compresión paralela -----	8
2.5.2. Flexión estática -----	9
2.5.3. Dureza Janka -----	9
2.5.4. Extracción de clavos -----	9
2.6. Generalidades de la especie -----	10
2.7. Extraíbles -----	12
3. JUSTIFICACIÓN -----	15
4. OBJETIVOS -----	16
4.1. General -----	16
4.2. Específicos -----	16
5. HIPÓTESIS -----	17
6. METODOLOGÍA -----	18
6.1. Material de estudio -----	18
6.2. Equipo -----	18
6.3. Descripción anatómica -----	19

6.4.	Aserrío -----	20
6.5.	Inmersión en agua caliente -----	21
6.6.	Contenido de humedad (CH) -----	22
6.7.	Pruebas físicas -----	23
6.7.1.	Densidad de la madera -----	23
6.7.2.	Contracción e hinchamiento -----	23
6.8.	Pruebas mecánicas -----	25
6.8.1.	Compresión paralela -----	25
6.8.2.	Flexión estática -----	25
6.8.3.	Dureza Janka -----	26
6.8.4.	Extracción de clavos -----	27
7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO -----	27
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	28
8.1.	Propiedades físicas -----	28
8.1.1.	Absorción de agua -----	28
8.1.2.	Densidad -----	29
8.1.3.	Estabilidad dimensional -----	30
8.2.	Propiedades mecánicas -----	37
8.2.1.	Compresión paralela -----	37
8.2.2.	Flexión estática -----	40
8.2.3.	Dureza Janka -----	43
8.2.4.	Resistencia a la extracción de clavos -----	46
9.	CONCLUSIONES -----	50
10.	OBSERVACIONES -----	51
11.	RECOMENDACIONES -----	51
12.	BIBLIOGRAFÍA -----	52
13.	ANEXOS -----	56

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Número de probetas para cada tipo de ensayo -----	21
Cuadro 2. Tipos de ensayos realizados -----	21
Cuadro 3. Análisis de varianza de contracción radial -----	30
Cuadro 4. Análisis de varianza de contracción tangencial -----	31
Cuadro 5. Resultados promedio de los ensayos de contracción e hinchamiento -----	32
Cuadro 6. Resultados generales del ensayo de contracción -----	33
Cuadro 7. Análisis de varianza de hinchamiento radial -----	34
Cuadro 8. Análisis de varianza de hinchamiento tangencial -----	35
Cuadro 9. Resultados generales del ensayo de hinchamiento -----	36
Cuadro 10. Análisis de varianza del módulo de ruptura en compresión paralela -----	38
Cuadro 11. Resultados generales de compresión paralela -----	39
Cuadro 12. Análisis de varianza del módulo de ruptura (MOR) en flexión estática -----	40
Cuadro 13. Resultados generales de flexión estática -----	42
Cuadro 14. Análisis de varianza de dureza Janka en dirección longitudinal -----	43
Cuadro 15. Análisis de varianza de dureza Janka en dirección lateral -----	44
Cuadro 16. Resultados generales de dureza Janka -----	45
Cuadro 17. Análisis de varianza de extracción de clavos en dirección longitudinal -----	46
Cuadro 18. Análisis de varianza de extracción de clavos en dirección lateral -----	47
Cuadro 19. Resultados generales de extracción de clavos -----	48
Cuadro 20. Resultados promedio y clasificación de los ensayos de compresión paralela, flexión estática, dureza Janka y extracción de clavos -----	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hojas de <i>Eucalyptus nitens</i> -----	11
Figura 2. Corteza de <i>Eucalyptus nitens</i> -----	11
Figura 3. Árbol de <i>Eucalyptus nitens</i> -----	12
Figura 4. Madera en rollo de <i>Eucalyptus nitens</i> de 8 años de edad -----	18
Figura 5. Sellado de los extremos de las trozas -----	18
Figura 6. Rodaja de <i>Eucalyptus nitens</i> marcada para identificación anatómica -----	19
Figura 7. Preparaciones para ser observadas en el microscopio -----	20
Figura 8. Aserrío de la madera de <i>Eucalyptus nitens</i> -----	20
Figura 9. Inmersión de probetas en termobañó -----	22
Figura 10. Probetas para determinar ccontracción e hinchamiento -----	24
Figura 11. Probeta sometida a compresión paralela -----	25
Figura 12. Probeta sometida a flexión estática -----	26
Figura 13. Probeta para determinar la resistencia a dureza Janka -----	26
Figura 14. Probetas para determinar la resistencia a eextracción de clavos -----	27
Figura 15. Absorción de agua después de inmersión -----	28
Figura 16. Densidad de la madera de <i>Eucaliptus nitens</i> -----	29
Figura 17. Contracción radial después de inmersión -----	31
Figura 18. Contracción tangencial después de inmersión -----	31
Figura 19. Hinchamiento radial después de inmersión -----	34
Figura 20. Hinchamiento tangencial después de inmersión -----	35
Figura 21. Módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela después de inmersión --	38
Figura 22. Módulo de ruptura (MOR) en flexión estática después de inmersión -----	41
Figura 23. Dureza longitudinal después de inmersión -----	44
Figura 24. Dureza lateral después de inmersión -----	44
Figura 25. Extracción de clavos en dirección longitudinal después de inmersión -----	47
Figura 26. Extracción de clavos en dirección lateral después de inmersión -----	47



## ÍNDICE DE ANEXOS

1. Clasificación de las propiedades físicas ----- 56
2. Clasificación de las propiedades mecánicas ----- 56

## 1. INTRODUCCIÓN

Una plantación forestal comercial es el establecimiento y manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural, con el objeto de producir materias primas maderables y no maderables para su industrialización y/o comercialización. Los estados de la República Mexicana con mayor superficie de plantaciones forestales son: Veracruz, Tabasco y Campeche (60%), seguidos de Puebla, Oaxaca, Chiapas, Jalisco, Michoacán y Guerrero. Michoacán representa el 3.6% (3,640.4 Ha), (CONAFOR, 2012).

Las principales especies para plantaciones con fines comerciales son: *Eucalyptus* sp., *Cedrela odorata*, *Pinus* sp., *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Swietenia macrophylla*. En Michoacán diferentes especies de eucalipto han encontrado una buena adaptación y se han introducido con propósitos de recuperación y protección de suelos (Macías 1993, citado por Coello 2006).

Las plantaciones de *Eucalyptus nitens*, poseen buenas características como resistencia al frío, rápido crecimiento, adaptabilidad a distintos sitios, excelente respuesta al manejo y aptitud de su madera para diversos usos y aplicaciones. Sus usos actuales son para pulpa y papel, madera aserrada, chapas, tableros y productos de ingeniería (Infor, s/f).

Las plantaciones comerciales producen madera muy inestable debido al rápido crecimiento del árbol generando una alta proporción de madera juvenil, trayendo como consecuencias numerosos alabeos, grietas, y altas contracciones e hinchamientos, los cuales se pudieran mejorar con la inmersión en agua.

La inmersión en agua caliente es utilizada en diferentes procesos de transformación de la madera, para favorecer un secado más fácil al liberar los conductos de salida del agua de la madera, reduciendo así los alabeos, grietas y otros defectos, además de favorecer el aserrío y la obtención de chapa debido al ablandamiento del material.

La inmersión en agua caliente favorece diversos procesos de transformación de la madera como se vio anteriormente. Sin embargo, esta inmersión puede reducir la resistencia mecánica de la madera y afectar las propiedades físicas de la misma.

Por lo que el objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de la inmersión en agua caliente en las propiedades físicas y mecánicas: (absorción de agua, contracción e hinchamiento, compresión paralela, flexión estática, dureza Janka, extracción de clavos) de la madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) de 8 años de edad, procedente de una plantación forestal comercial, del predio El Chilacayote, municipio de Maravatio, Michoacán, México.

Los árboles de eucalipto utilizados, fueron donados por la empresa Forestaciones Operativas de México S.A de C.V., la cual se dedica al establecimiento, manejo y comercialización de plantaciones comerciales. Es importante generar investigación sobre esta especie y sus propiedades físico mecánicas para sus potenciales usos y dar un aprovechamiento racional e integral.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. MADERA DE EUCALIPTO DE PLANTACIONES COMERCIALES

Las plantaciones forestales comerciales producen madera muy inestable con fuertes tensiones de crecimiento internas y altos índices de contracción e hinchamiento debido al rápido crecimiento del árbol, generando gran proporción de madera juvenil ocasionando deformaciones, agrietamientos y colapso al momento de su procesamiento (Garibay *et al.*, 2014).

La mayor proporción de la madera producida en plantaciones se destina a las industrias de pulpa y papel. Los árboles de buena calidad se aprovechan para la producción de madera aserrada, triplay, chapa, vigas laminadas, muebles y tarimas (CONAFOR, 2007).

Durante mucho tiempo la especie de eucalipto ha sido usada para material celulósico, sin embargo, sus características de adaptabilidad y rápido crecimiento principalmente nos ha llevado a estudiarla para buscar usos y alternativas con el fin de darle un aprovechamiento óptimo.

En México, las plantaciones van cada día en aumento, sin embargo, no se reportan estudios sobre la inmersión de madera en agua caliente y los efectos en sus propiedades físico mecánicas, este tratamiento solo es utilizado en la mayoría de los casos para favorecer los procesos de transformación tales como secado, aserrío, descortezado, obtención de chapa, pulpa celulósica entre otros.

Para mejorar diferentes procesos de transformación de la madera, se han evaluado numerosos tratamientos cuyos resultados varían ampliamente, entre ellos se encuentra la inmersión de la madera en agua a diferentes temperaturas. Los efectos de mejoramiento que produce este método son muy factibles, sin embargo, con la inmersión e intercambio de fluidos, las propiedades que posee el material se ven afectadas de manera que se ven disminuidas en gran porcentaje. Solo se conoce que se alteran o disminuyen pero no se ha medido su efecto.

Esto consiste en que los efectos de la permeabilidad se pueden atribuir a la modificación de la estructura química de componentes de la pared celular, proliferación de microorganismos y modificación de sustancias que bloquean las rutas de flujo entre lúmenes y células (Herrera, 1996).

## **2.2. PERMEABILIDAD EN LA MADERA**

Es una medida de la facilidad con que los fluidos se transportan a través de un cuerpo poroso mediante flujo de masas. Esta propiedad es de gran importancia en cualquier proceso en que un fluido es introducido o extraído de la madera. Para que un sólido poroso sea permeable, sus poros deben estar interconectados. En la madera, los lúmenes de las células están comunicados entre sí por medio de pares de punteaduras que son más o menos permeables (Siau, 1984).

## **2.3. INMERSIÓN EN AGUA**

Algunos compuestos solubles en agua disminuyen rápidamente con la inmersión. Casi el 80% de los carbohidratos desaparecen en 4 semanas, a mayores tiempos de inmersión produce mayor incremento en la sorción de líquidos.

Diaz-Vaz (1991), citado por Herrera (1996), encontró que los tratamientos de inmersión a varias temperaturas incrementan la velocidad de secado y calidad de la madera empleando temperaturas de 20, 40, 60 y 80 °C con tiempos de inmersión de 2, 4, 8 y 16 días en *Eucalyptus globulus*.

Hergt (1972), realizó inmersión momentánea en agua y etanol en probetas de distintas especies, encontrando diferencias en cuanto al porcentaje de extraíbles.

Chen *et al* (1995), citado por Herrera (1996), encontraron un aumento en la velocidad de secado de duramen de *Sequoia sempervirens* y *Quercus sp.*, en inmersión en agua a 70 °C y 72 horas, debido a la eliminación de extraíbles solubles en agua.

Peredo y Figueroa (1992), encontraron una reducción de hasta 1/3 en el tiempo de secado de *Nothofagus dombeyi* mediante la inmersión en agua a 70°C durante 48 horas.

Haslett y Kininmonth (1986), citado por Herrera (1996), lograron una reducción de al menos 1/3 de tiempo de secado de duramen de *Nothofagus fusca* sometido a inmersión de 80 a 100 °C en un periodo de 7 a 36 semanas.

Estos estudios hacen referencia a la inmersión y su efecto en la permeabilidad para efectos de secado más no en sus propiedades físicas y mecánicas.

Para disminuir los costos de operación es necesario aserrar la madera inmediatamente después de ser cortado el árbol, no obstante, esto no siempre es posible. El tratamiento que mejor resultados ha dado es el de mantener la madera sumergida en agua. Todas las trozas destinadas a desenrollo para obtención de chapa, partículas y astillas para tableros, aserrío o incluso el secado deben ser acondicionadas, esta operación empieza por eliminar la corteza mediante tratamientos de vaporizado o bien en baños de agua caliente. El objetivo principal es ablandar la madera para lograr un corte suave y disminución en el consumo de energía. Los factores que influyen en el tratamiento son: la especie, el tiempo de inmersión, la densidad, las dimensiones de la madera y la temperatura. En ocasiones el tratamiento lleva un cambio de color en la madera (García *et al*, 2002).

## **2.4. PROPIEDADES FÍSICAS**

Se llaman propiedades físicas de la madera, aquellas que pueden determinarse sin alterar la integridad de la muestra sometida al ensayo ni cambiar su composición química, es decir, no requieren de una fuerza externa sobre la muestra (Fuentes, s/f).

### **2.4.1. ANISOTROPÍA**

La madera es un material anisótropo, es decir, sus propiedades físicas y mecánicas varían según la dirección en que se midan.

La madera tiene tres direcciones principales definida por sus tres ejes. Estas tres direcciones son perpendiculares entre si, las cuales son longitudinal, radial y tangencial. La dirección longitudinal es paralela al eje del árbol. La dirección radial es perpendicular a la dirección longitudinal. La dirección tangencial es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a la dirección radial y longitudinal (Cerriteño, 1995).

#### **2.4.2. HIGROSCOPICIDAD**

La madera es un material higroscópico, esto es que tiene la propiedad de ganar o ceder humedad en intercambio con el medio ambiente que la rodea, hasta alcanzar el equilibrio. La humedad en la madera es la característica más importante, ya que influye en la magnitud de todas sus propiedades físicas y mecánicas. La distribución del agua en la madera se encuentra dividida en:

- a) Agua de constitución: es la que forma la materia leñosa y no puede eliminarse de alguna manera, solo quemando la madera.
- b) Agua de saturación: se encuentra adherida en las paredes celulares y su variación provoca el hinchamiento o contracción de la madera, según aumente o disminuya su contenido.
- c) Agua libre: también llamada agua capilar (Fuentes, s/f), esta agua es la primera en salir, se encuentra en las cavidades celulares, puede comprender un peso mucho mayor que la sustancia madera (Cerriteño, 1995).

#### **2.4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)**

Es la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresada en función del peso de esa pieza seca al horno o anhidra. Su valor numérico se expresa en porcentaje (Sánchez y Bocanegra, 2006).

#### **2.4.4. CONTENIDO DE HUMEDAD EN EQUILIBRIO (CHE)**

Es el contenido de humedad al cual llega a estabilizarse la madera, en relación a la humedad relativa del medio ambiente que la rodea (Fuentes, s/f). Debido a que la madera es higroscópica, tiene la capacidad de perder o absorber humedad según la humedad relativa y la temperatura del aire en que ésta se encuentre.

Por lo tanto, cuando la madera adquiere un nivel de humedad determinado por la humedad relativa y temperatura del aire se dice que alcanza la humedad en equilibrio, la cual varía entre especies y en la misma especie entre albura y duramen (Pérez, 1994).

#### **2.4.5. PUNTO DE SATURACIÓN DE LA FIBRA (PSF)**

Es la condición que se presenta en la madera cuando las fibras o traqueidas tienen sus paredes celulares saturadas de agua higroscópica y los lúmenes están vacíos o no contienen agua libre. Los cambios en el contenido de humedad (CH) de la madera por arriba del PSF casi no tienen efecto sobre sus propiedades.

El PSF varía entre las especies; para las latifoliadas va de 32 a 35% y en coníferas entre 26 y 28%. Para casos prácticos se toma en promedio 30% de CH como el PSF.

#### **2.4.6. CONTRACCIÓN E HINCHAMIENTO**

La contracción e hinchamiento de la madera, se refieren a los cambios en dimensiones y volumen. La contracción empieza debajo del punto de saturación de la fibra (PSF) y el hinchamiento termina al llegar a este punto.

La contracción es aproximadamente de uno y medio a dos veces mayor en el sentido tangencialmente que en el radial, en el sentido longitudinal la contracción es tan pequeña que para efectos del secado no se toma en cuenta (Sánchez y Bocanegra, 2006).



#### **2.4.7. DENSIDAD DE LA MADERA**

Se define como el peso de un material por unidad de volumen. Es la característica donde mejor se aprecia la calidad de una madera, de ella depende su resistencia mecánica en general, su trabajabilidad, la variabilidad en los cambios dimensionales, calidad de acabados y poder calorífico principalmente (Sánchez y Bocanegra, 2006).

#### **2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS**

Para la determinación de las propiedades mecánicas de un material se requiere la aplicación de una carga, esto es lo que diferencia las propiedades mecánicas de las físicas. Lo que normalmente se determina es el nivel de resistencia, elasticidad y/o rigidez de la madera (Fuentes, s/f).

- a) Resistencia: capacidad de una madera de resistir u oponerse a una fuerza externa que al actuar sobre ella tiende a cambiar su tamaño o forma.
- b) Carga: fuerza distribuida que actúa sobre un cuerpo, clasificándose según su duración en: carga viva: fuerza que actúa en forma permanente; carga súbita: fuerza de corta duración aplicada a intervalos irregulares.
- c) Módulo de ruptura: esfuerzo unitario máximo en el momento de la ruptura (Cerriteño, 1995).

##### **2.5.1. COMPRESIÓN PARALELA**

La resistencia de la madera a esfuerzos de compresión se determina en el sentido paralelo a las fibras, como en sentido perpendicular, la resistencia paralela es de 3 a 5 veces mayor que en la perpendicular, en este tipo de esfuerzos se presenta la falla hasta la ruptura, solo en columnas cortas es posible determinar los esfuerzos a compresión paralela, ya que en columnas largas se puede presentar el esfuerzo por flexión o pandeo al mismo tiempo (Sánchez y Bocanegra, 2006). La falla se inicia en la zona débil de las paredes celulares, por ejemplo en los campos de cruzamiento y se observan a simple vista (COFAN, 1999).

### **2.5.2. FLEXIÓN ESTÁTICA**

La flexión es uno de los esfuerzos al que se somete la madera de construcción más comúnmente, la forma como se mide la resistencia es aplicando una carga concentrada en el centro de la longitud de la viga apoyada en sus extremos; cuando se flexiona la viga, se presentan a la vez dos tipos de esfuerzos en el espesor de la pieza; en la parte superior de compresión, y en la inferior de tensión, también la diferencia en la intensidad de estos esfuerzos según su distanciamiento del eje medio se producen esfuerzos por cortante (Sánchez y Bocanegra, 2006).

Por lo general las fallas por flexión se inician con el aplastamiento de las fibras externas sometidas a compresión, posteriormente se presenta la rotura de fibras por tensión, la falla por cortante ocurre ocasionalmente sobre todo debido a cambios de densidad entre los anillos de crecimiento o por la presencia de grietas internas (COFAN, 1999).

### **2.5.3. DUREZA JANKA**

La dureza no es precisamente un esfuerzo mecánico, es decir, la dureza es la resistencia que opone un cuerpo al ser penetrado por otro sólido, se han diseñado algunos métodos como dureza Janka, Brinell entre otros (Sánchez y Bocanegra, 2006). Para determinar la dureza Janka, se introduce una esfera en la madera y se mide la carga. La esfera tiene 1 cm<sup>2</sup> de área, al medir la carga que se requirió, se está midiendo directamente la dureza en kg/cm<sup>2</sup> o N/mm<sup>2</sup>.

### **2.5.4. EXTRACCIÓN DE CLAVOS**

En este ensayo la fuerza tiende a vencer el roce entre la madera y un clavo introducido en ella, se aplica una carga de tensión en el extremo del clavo y la pieza a probar, la carga es en un solo punto por lo que no se mide deformación alguna en la madera. Se mide en el sentido longitudinal y transversal (Sánchez y Bocanegra, 2006).

## 2.6. GENERALIDADES DE LA ESPECIE

A nivel mundial existen 18.7 millones de hectáreas correspondientes al género *Eucalyptus* abarcando más de 700 especies, esta especie ha demostrado ser de rápido crecimiento (30 m<sup>3</sup>/ha/año). El *Eucalyptus nitens* es la especie de mayor crecimiento volumétrico con edades de rotación desde los 8 a 14 años de edad (Borgoño, 2006).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus nitens*

Nombre común: Eucalipto

Origen: Sudeste de Australia

Principales características: Resistencia al frío, rápido crecimiento y adaptabilidad a distintos sitios.

Densidad básica de la madera: 490 a 520 kg/m<sup>3</sup> a los 10 años de edad.

Usos y potencial productivo: Pulpa y papel, madera aserrada, chapas, tableros y productos de ingeniería.

Hojas juveniles: Opuestas, ovales a lanceoladas anchas. Exudan un olor similar a barniz.

Hojas adultas: Alternas, pecioladas, lanceoladas (Figura 1).

Tipo de corteza: Básicamente lisa, descortezándose en tiras (Figura 2) (Infor s/f, FAO, 1981, Universidad de Vigo, 2014).



Figura 1. Hojas de *Eucalyptus nitens*



Figura 2. Corteza de *Eucalyptus nitens*

Es un árbol perennifolio de gran desarrollo que llega hasta 60 m de altura, con diámetros de 1 a 2 m. Las flores y frutos se presentan agrupados en inflorescencias e infrutescencias respectivamente en número que oscila entre cinco y siete. Cada uno de ellos con aspecto de pera (piriforme) se une al grupo directamente sin ningún tipo de pedúnculo. Fuste recto con corteza blanquecina o algo grisácea (Figura 3).

Es conocida por dar poca semilla y se tiende a concentrar la obtención de semilla sobre los árboles que ocasionalmente la producen. Se sospecha que hay un alto grado de autofecundación. Florece entre febrero y marzo. Esta especie puede soportar temperaturas de hasta  $-12^{\circ}\text{C}$ . La relación negativa entre resistencia a la helada y el área basimétrica indica que el daño a la helada está asociado a un crecimiento y supervivencia bajos, relacionados a su vez con el origen de la semilla empleada.

A finales del siglo pasado comienza a prestarse especial importancia a los empleos de estas especies para usos rurales, postes y pisos. La industrialización de madera se inició con fines celulósicos y energéticos, luego progresó hacia los tableros, postes y productos sólidos. Una de las razones de la gran expansión de los eucaliptos fuera de su área natural, ha sido la ausencia de plagas específicas durante largos períodos de tiempo. Por lo que no han interferido de forma determinante sobre el proceso productivo (Universidad de Vigo, 2014).



Figura 3. Árbol de *Eucalyptus nitens*

Los eucaliptos están acusados de acidificar y empobrecer los suelos y forma parte de la cultura ambiental. Cuando no están sujetos al aprovechamiento económico de su madera se viene demostrando como mejoradores de suelo o, como mínimo, neutros en diversos trabajos científicos, no existiendo pruebas de que degraden el terreno en ningún caso (Montoya, 1995).

## **2.7. EXTRAÍBLES**

Los extraíbles pueden estar infiltrados completamente dentro de las paredes de las células, depositados en la superficie o tapando los lúmenes celulares, particularmente del duramen. En la madera se encuentran en proporciones muy bajas, que varían de 0.4 a 5.6% según la especie. A pesar de que la cantidad de extraíbles es muy baja, estos influyen en varias propiedades de la madera, como el olor y el color. Sin la presencia de los extraíbles, el reconocimiento macroscópico no sería posible, por lo que la madera se reconocería únicamente por un estudio anatómico microscópico.

Las maderas que poseen cantidades importantes de extraíbles, presentan cierto grado de resistencia natural al ataque de hongos e insectos, ya que los extraíbles incluyen compuestos tóxicos en su composición química que inhiben el ataque de estos.

Estas sustancias se encuentran en los lúmenes o paredes celulares ocupando espacios que hacen que la madera sea más compacta, por lo tanto, influyen en la permeabilidad y en las propiedades físicas de la madera, como por ejemplo en la densidad básica, dureza y en la resistencia a la compresión (Panshin y De-Zeeuw 1970, citado por Barahona 2005).

La madera de eucalipto tiene un alto contenido de extraíbles, que varían considerablemente según la especie. La cantidad de extraíbles fenólicos aumenta desde la médula hacia el exterior en el duramen, y disminuye en la albura. El mismo patrón de distribución se encuentra en todo el árbol, aun cuando los contenidos de extraíbles son menores en la parte superior (Barahona, 2005).

En algunos árboles el duramen se distingue claramente por su color más oscuro que la albura. La causa fisiológica de la formación del duramen consiste en que el árbol, a medida que va envejeciendo solo necesita los anillos anuales más externos para la conducción de savia y el suministro de las sustancias alimenticias y por ello la madera va perdiendo su actividad vital. La formación del duramen se ve acompañada por algunos fenómenos químicos, en el caso de las latifoliadas el duramen coloreado contiene más resinas y aceites que la albura; estas sustancias penetran, en parte, en las cavidades celulares.

En muchas maderas el duramen contiene sustancias solubles en agua, entre hidratos de carbono y polisacáridos, alcaloides y taninos que al oxidarse le dan su característico color oscuro. El duramen contiene también sustancias solubles en agua, como taninos y materias colorantes, encontrándose además con frecuencia, sustancias minerales, como carbonato y oxalato cálcico y ácido silícico (Kollmann 1959, citado por Salas 2005).

La extracción en agua fría elimina las sales orgánicas presentes en los lúmenes celulares. Por otra parte, la extracción en agua caliente remueve más sustancias solubles con agua fría y además hidroliza algunos polisacáridos (Díaz-Vaz 2003, citado por Barahona 2005).

Swan *et al* (1967), citado por Coello (2006) encontró que en las maderas de eucalipto se han encontrado varios compuestos, siendo fundamentalmente taninos condensados, ácidos

terpénicos, vainillina. Además Coello (2006), encontró que los principales extraíbles en eucalipto, con agua caliente son azúcares tales como arabinosa, galactosa, glucosa, xilosa y manosa en albura y duramen.

Barahona (2005) reporta el porcentaje de extraíbles en agua caliente en madera de *Eucalyptus globulus* para edades de 18 y 20 años es de 4.5%. Parecido a lo que reporta Hillis (1984), citado por Coello (2006), que las sustancias solubles en agua caliente en el duramen de *Eucalyptus camaldulensis* con edades similares en Israel, fueron entre 14.3 y 12.1%, para la albura de 7.4%. Además menciona que los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina en los eucaliptos varían en rangos, siendo para celulosa entre 40 y 60%, para hemicelulosas entre 12 y 22% y lignina entre 15 y 22%.

### 3. JUSTIFICACIÓN

En el territorio nacional se cuenta con grandes áreas de plantaciones forestales, las cuales son destinadas a la transformación y/o elaboración de diferentes productos para exportación.

En México, la especie *Eucalyptus nitens* ha despertado el interés en cuanto a sus posibilidades de utilización ya que puede alcanzar en corto tiempo (7-9 años) un tamaño adecuado para su aprovechamiento.

En el estado de Michoacán, la plantación comercial a utilizar, es propiedad de la empresa Forestaciones Operativas de México S.A de C.V., dedicada principalmente al establecimiento de plantaciones forestales como abastecimiento de otras industrias para la elaboración de celulosa o tableros a base de partículas. Dicha empresa requiere caracterizar su materia prima.

Las plantaciones comerciales producen madera muy inestable debido al rápido crecimiento del árbol generando una alta proporción de madera juvenil, trayendo como consecuencias numerosos alabeos, grietas, y altas contracciones e hinchamientos, los cuales se pudieran mejorar con la inmersión en agua.

Por otra parte es importante generar investigación sobre esta especie y sus propiedades físico mecánicas para sus potenciales usos y dar un aprovechamiento integral.



## 4. OBJETIVOS

### 4.1. GENERAL

Determinar el efecto de la inmersión en agua caliente en las propiedades físico mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) de 8 años de edad proveniente de una plantación forestal comercial.

### 4.2. ESPECIFICOS

- Determinar la absorción de agua.
- Determinar la contracción e hinchamiento en dirección radial y tangencial.
- Determinar el módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela.
- Determinar el módulo de ruptura (MOR) en flexión estática.
- Determinar dureza Janka en dirección lateral y longitudinal.
- Determinar el esfuerzo de la extracción de clavos en dirección lateral y longitudinal.

## 5. HIPÓTESIS

La inmersión en agua de la madera de *Eucalyptus nitens* modifica la resistencia en sus propiedades físicas y mecánicas.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. MATERIAL DE ESTUDIO

Se utilizó madera en rollo de *Eucalyptus nitens* (Figura 4) donado por la empresa Forestaciones Operativas de México S.A de C.V. El material fue extraído del predio El Chilacayote, municipio de Maravatio, Michoacán, se localiza al Noreste del Estado entre las coordenadas 19° 54' latitud Norte y 100° 27' longitud Oeste a 2020 msnm, el clima es templado con lluvias en verano, precipitación pluvial anual promedio de 897 mm y temperaturas entre 14 y 29.9°C (INAFED, s/f).



Figura 4. Madera en rollo de *Eucalyptus nitens* de 8 años de edad.



Figura 5. Sellado de los extremos de las trozas.

Los árboles presentaron medidas promedio de 20 m de altura y diámetro a la altura del pecho de 30 cm. Se sellaron los extremos de las trozas con adhesivo blanco con el objeto de evitar grietas o rajaduras además de pérdida de humedad que dificultara el aserrío desafilando la sierra (Figura 5).

### 6.2. EQUIPO

- Termo baño “felisa” con rango de operación de 5-100°C.
- Horno de secado “felisa” con rango de operación de 5-250°C.

- Máquina universal para pruebas físico mecánicas “Shimadzu” con capacidad de carga de 10 toneladas.

### 6.3. DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Aunque no es objetivo del presente trabajo, se identificó anatómicamente el material para tener un mejor conocimiento del mismo. Se colectaron dos trozas para describirlas en los laboratorios de anatomía de la madera pertenecientes a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA).

Se cortaron dos rodajas de 5 cm de espesor (Figura 6) para obtener cubos de 2.5 cm, del material restante se obtuvieron tablillas de 2.5 x 10 x 30 cm, en cortes radiales y tangenciales las cuales quedaron resguardadas dentro del laboratorio de anatomía de la madera.



Figura 6. Rodaja de *Eucalyptus nitens* marcada para identificación anatómica.

Se realizaron cortes en el micrótopo y maceración del material (Figura 7), fue necesario cocer la madera con agua destilada por un tiempo de 200 h. Se prosiguió con una tinción con Pardo de Bismarck, posteriormente se realizó la deshidratación con alcohol al 50%, e inmediatamente se realizaron los montajes para observarlos en el microscopio registrando las mediciones de los elementos constitutivos.



Figura 7. Preparaciones para ser observadas en el microscopio.

#### 6.4. ASERRÍO

Las trozas presentaban medidas de 1.20 m de longitud y un diámetro en puntas no menor a 15 cm, la cuales fueron aserradas en la misma facultad (Figura 8), obteniendo piezas de 1 y 2" en cortes radiales y tangenciales, para ello se utilizó una sierra cinta de calibre 17 con paso de diente de 1 ½".

Posteriormente, las probetas fueron colocadas en refrigeración con el objeto de evitar pérdida de humedad y evitar defectos como torceduras y/o rajaduras.



Figura 8. Aserrío de la madera de *Eucalyptus nitens*.

## 6.5. INMERSIÓN EN AGUA CALIENTE

Se utilizaron tiempos de 4, 8 y 12 h, y temperaturas de 40, 60 y 80°C con 15 probetas para cada tratamiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de probetas para cada tipo de ensayo.

Tiempos	Temperaturas		
	40°C	60°C	80°C
4 h	15	15	15
8 h	15	15	15
12 h	15	15	15
			Total 135

Las propiedades analizadas fueron absorción de agua, contracción, hinchamiento, módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela y flexión estática, dureza Janka en dirección lateral y longitudinal y, extracción de clavos en dirección lateral y longitudinal (Cuadro 2).

El número de probetas para cada tratamiento fue de 165 incluyéndose las probetas testigo, se utilizaron las normas ISO para ensayos de flexión estática, compresión paralela, dureza Janka y contracción e hinchamiento, para el ensayo de extracción de clavos se utilizó la norma ASTM-143.

Cuadro 2. Tipos de ensayos realizados.

Tipo de prueba	Medidas (mm)	No. probetas	Número de norma
<b>Flexión estática</b>	20 x 20 x 300	165	ISO 3133
<b>Compresión paralela</b>	20 x 20 x 60	165	ISO 3132
<b>Dureza Janka</b>	50 x 50 x 50	165	ISO 3350
<b>Extracción de clavos</b>	50 x 50 x 150	165	ASTM D-143
<b>Contracción e hinchamiento</b>	20 x 20 x 10	165	ISO 4858, 4469

Se seleccionaron piezas para obtener probetas destinadas a cada tratamiento. Utilizando los tres tiempos y tres temperaturas diferentes, se colocaron las probetas en el termobañó sumergidas en agua caliente para cada combinación de temperatura y tiempo en todos los ensayos realizados (Figura 9). Se retiraron del agua, se acondicionaron a 12% de CH y se determinó su resistencia mecánica.



Figura 9. Inmersión de probetas en termobañó.

#### 6.6. CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

Para la determinación del CH se utilizó el método de deshidratación colocando las probetas en el horno de secado a temperaturas de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , de acuerdo a la norma ISO 3130. La determinación del CH se realizó tanto a las probetas testigo como a las probetas con tratamiento después de haber finalizado el mismo, quedando en 12%.

Se utilizó la fórmula siguiente:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} (100) \quad [1]$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

Ph = Peso húmedo (g ó kg)

Po = Peso anhidro (g ó kg)

## 6.7. PRUEBAS FÍSICAS

### 6.7.1. DENSIDAD DE LA MADERA

Para determinar la densidad de la madera se utilizó la siguiente fórmula:

$$d = \frac{P}{V} \quad [2]$$

Donde:

d = Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

P = Peso (g)

V = Volumen (cm<sup>3</sup>)

### 6.7.2. CONTRACCIÓN E HINCHAMIENTO

Para la determinación de este ensayo fue necesario la utilización de las siguientes fórmulas:

$$\beta_r = \frac{R_v - R_o}{R_v} (100) \quad [3]$$

$$\beta_t = \frac{T_v - T_o}{T_v} (100) \quad [4]$$

$$\beta_v = \frac{V_v - V_o}{V_v} (100) \quad [5]$$

Donde:

$\beta_r$  = Contracción radial (%)

$R_v$  = Magnitud radial verde (cm)

$R_o$  = Magnitud radial anhidra (cm)

$\beta_t$  = Contracción tangencial (%)



$T_v$  = Magnitud tangencial verde (cm)

$T_o$  = Magnitud tangencial anhidra (cm)

$\beta_v$  = Contracción volumétrica (%)

$V_v$  = Volumen verde (cm<sup>3</sup>)

$V_o$  = Volumen anhidro (cm<sup>3</sup>)

$$\alpha_r = \frac{R_v - R_o}{R_o} (100) \quad [6]$$

$$\alpha_t = \frac{T_v - T_o}{T_o} (100) \quad [7]$$

$$\alpha_v = \frac{V_v - V_o}{V_o} (100) \quad [8]$$

Donde:

$\alpha_r$  = Hinchamiento radial (%)

$R_v$  = Magnitud radial verde (cm)

$R_o$  = Magnitud radial anhidra (cm)

$\alpha_t$  = Hinchamiento tangencial (%)

$T_v$  = Magnitud tangencial verde (cm)

$T_o$  = Magnitud tangencial anhidra (cm)

$\alpha_v$  = Hinchamiento volumétrico (%)

$V_v$  = Volumen verde (cm<sup>3</sup>)

$V_o$  = Volumen anhidro (cm<sup>3</sup>)



Figura 10. Probetas para determinar contracción e hinchamiento.

## 6.8. PRUEBAS MECÁNICAS

### 6.8.1. COMPRESIÓN PARALELA

Para determinar el MOR en el ensayo de compresión paralela se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{MOR} = \frac{F}{(a)(b)} \quad [9]$$

Donde:

MOR = Módulo de ruptura ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

F = Fuerza máxima de ruptura (N)

a = Lado de la probeta (mm)

b = Lado de la probeta (mm)

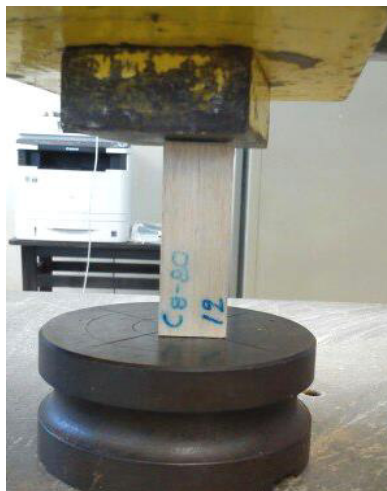


Figura 11. Probeta sometida a compresión paralela.

### 6.8.2. FLEXIÓN ESTÁTICA

Para determinar el MOR en el ensayo de flexión estática se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{MOR} = \frac{(3)(F)(L_s)}{(2)(a)(h^2)}$$

[10]

Donde:

MOR = Módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>)

F = Fuerza máxima de ruptura (N)

Ls = Distancia entre soportes (mm)

a = Ancho de la probeta (mm)

h = Peralte de la probeta (mm)

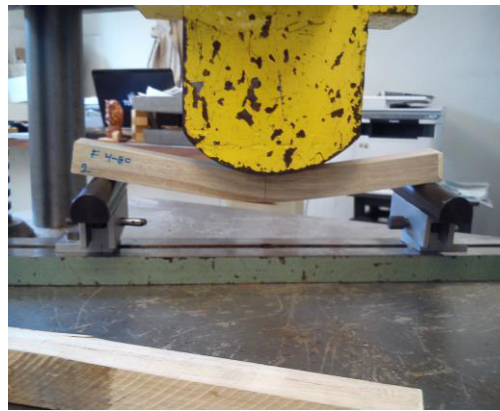


Figura 12. Probeta sometida a flexión estática.

### 6.8.3. DUREZA JANKA

Para determinar la dureza Janka, se introdujo una esfera en la madera y se midió la carga (Figura 10). La esfera tiene 1 cm<sup>2</sup> de área, al medir la carga que se requirió, se está midiendo directamente la dureza en kg/cm<sup>2</sup> ó N/mm<sup>2</sup>.



Figura 13. Probeta para determinar la resistencia a dureza Janka.

#### 6.8.4. EXTRACCIÓN DE CLAVOS

Para determinar este ensayo, se introdujo  $\frac{3}{4}$  partes de la longitud de un clavo de 2" y se aplicó una carga de tensión en el extremo de cada uno. La fuerza tiende a vencer el roce entre la madera y el clavo introducido en ella (Figura 10), la carga es en un solo punto por lo que no se mide deformación alguna en la madera, sino la resistencia que opone al ser extraído. Se realizó en dirección lateral y longitudinal.



Figura 14. Probetas para determinar la resistencia a extracción de clavos.

### 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los valores obtenidos consistió en realizar un análisis de varianza (ANOVA) y test de Duncan con el paquete estadístico SAS versión 8.2, a fin de determinar si existe o no diferencia significativa entre cada combinación de temperatura y tiempo. Se utilizaron 15 probetas para cada combinación de tratamiento y un nivel de confianza del 95%.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La madera de *Eucalyptus nitens* proveniente de una plantación forestal comercial de rápido crecimiento, presentó diámetros promedio de 28 cm, con medula ligeramente excéntrica, corteza que se desprendía en tiras. Presentó también color blanco a castaño pálido, cuando está seca no presenta olor ni sabor, de veteado suave, brillo medio y textura fina. De igual manera, la madera de eucalipto presentó serios problemas al momento de ser aserrada debido a las altas tensiones generadas por su rápido crecimiento, lo cual se vio reflejado por las grietas y rajaduras y en algunas piezas arqueamiento, inmediatamente al salir de la sierra.

### 8.1. PROPIEDADES FÍSICAS

#### 8.1.1. Absorción de agua

Se determinó la absorción de agua en la madera de *Eucalyptus nitens* después de la inmersión, donde se encontró que a medida que incrementa el tiempo de inmersión y la temperatura, aumenta la absorción de agua en la madera. Se observa claramente en la Figura 11 que existe diferencia estadística significativa entre cada combinación de tratamientos, la máxima absorción de agua fue de 36.4% bajo condiciones de 80°C y 12 h y el valor mínimo fue bajo condiciones de 40°C y 4 h quedando en 9.2%.

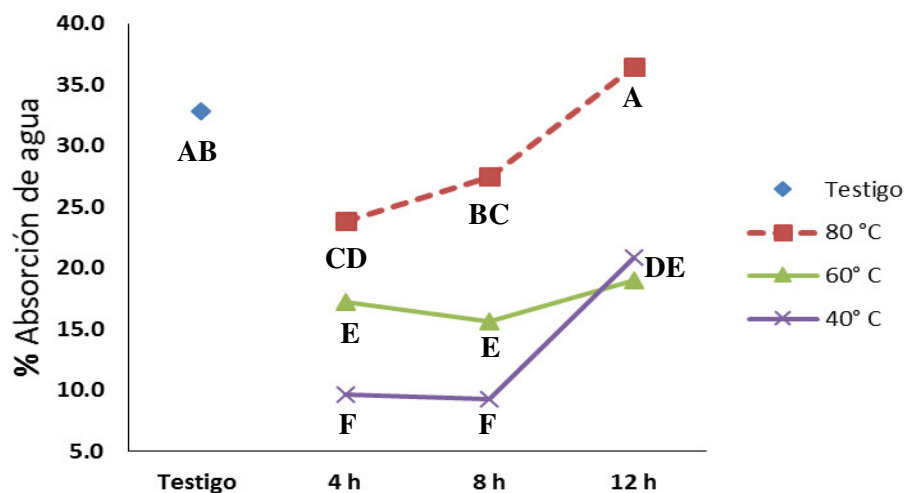


Figura 15. Absorción de agua después de inmersión.

(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

### 8.1.2. Densidad

La densidad normal del *Eucalyptus nitens* fue de 0.59 g/cm<sup>3</sup>, clasificándose como media de acuerdo a Sotomayor (2002) (0.401-0.60 g/cm<sup>3</sup>), y alta (0.57-0.70 g/cm<sup>3</sup>) de acuerdo a Echenique-Manrique (1994). Dicha densidad es similar a la que reportan Munery y Raymond (2005), para madera de 7 años de la misma especie en Australia la cual fue de 0.56 g/cm<sup>3</sup>, y a la que reporta Gorrini *et al* (2004) de 510 kg/m<sup>3</sup>. Por lo que las condiciones del sitio y climáticas no fueron determinantes para ocasionar variaciones de la densidad en esta especie. De igual manera Kibblewhite *et al.* (2001), reporta una densidad similar de 0.56 en madera de 8 años de edad de *Eucalyptus maidenii*. Sin embargo, los valores de densidad reportados en el presente trabajo difieren a los presentados por INFOR (1998), citado por Gorrini *et al.* (2004) y Poblete (2004) los cuales presentan valores menores de densidad de 435, 470 y 495 kg/m<sup>3</sup> para edades de 5, 10 y 13 años respectivamente en madera de *Eucalyptus nitens* usado para la fabricación de tableros aglomerados en Chile. Por otro lado, Ananías *et al* (2009), reportan valores de hasta 536 kg/m<sup>3</sup> en madera de *Eucalyptus nitens* de 16 años de edad. Donde se observa claramente la influencia de la edad en la densidad de la madera.

También la especie puede influir en los valores de densidad, así, Calonego *et al.* (2012) reportó densidades de 687 kg/m<sup>3</sup> en madera de *Eucalyptus grandis* de 6 años.

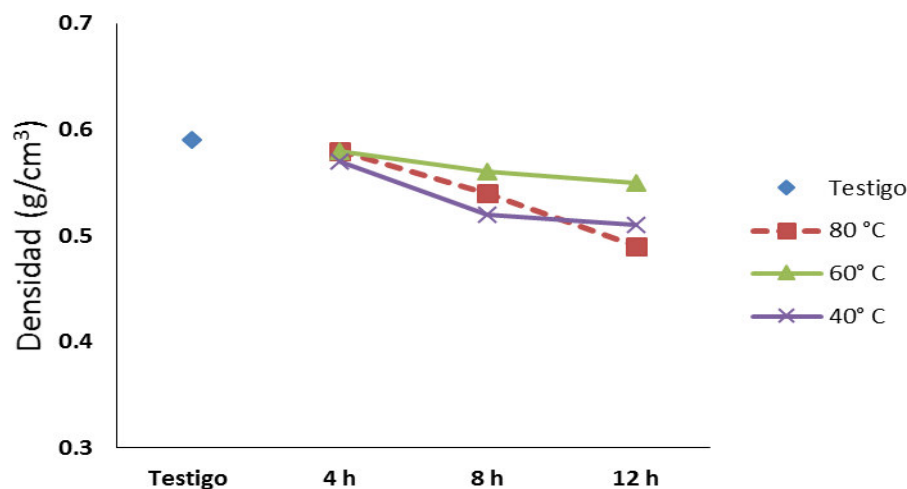


Figura 16. Densidad de la madera de *Eucalyptus nitens*.

### 8.1.3. Estabilidad dimensional

En los cuadros 4, 5 y 6 se muestran los valores de hinchamiento y contracción, los cuales fueron menores en el corte radial que en el tangencial. En el corte radial, la contracción tuvo un valor máximo de 4.0% para condiciones de 80°C y 12 h, un valor mínimo de 2.6% para condiciones de 80°C y 8 h. En el corte tangencial el valor máximo en la contracción fue 7.6% bajo condiciones de 80°C y 12 h, el valor mínimo fue de 5.5% para condiciones de 60°C y 8 h.

Ananías *et al.* (2009) reportaron contracciones mayores a las del presente trabajo para la madera de *Eucalyptus nitens* de 17 años de edad durante el proceso de secado de 5.5 y 14.1% en dirección radial y tangencial respectivamente. Asimismo, Calonego *et al.* (2012), encontraron en la madera de *Eucalyptus grandis* de 5 años y 11 meses de edad, valores mayores a los reportados en este estudio, 12.3 y 14.6% de contracción radial y contracción tangencial respectivamente.

El análisis estadístico presentado en el Cuadro 3 y Figura 12 demuestra que la inmersión en agua caliente no afectó la contracción en el sentido radial, sin embargo, si afectó significativamente la contracción en el eje tangencial (Cuadro 4, Figura 13). Donde se puede observar que al utilizar temperaturas de 80°C y 12 h de inmersión fueron suficientes para remover algunos extraíbles presentes en la madera, liberando espacios que favorecieron a la contracción de las fibras.

Cuadro 3. Análisis de varianza de contracción radial.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	30.4047619	3.3783069	1.21	0.2965
Error	130	364.0426667	2.8003282		
Total	139	394.4474286			

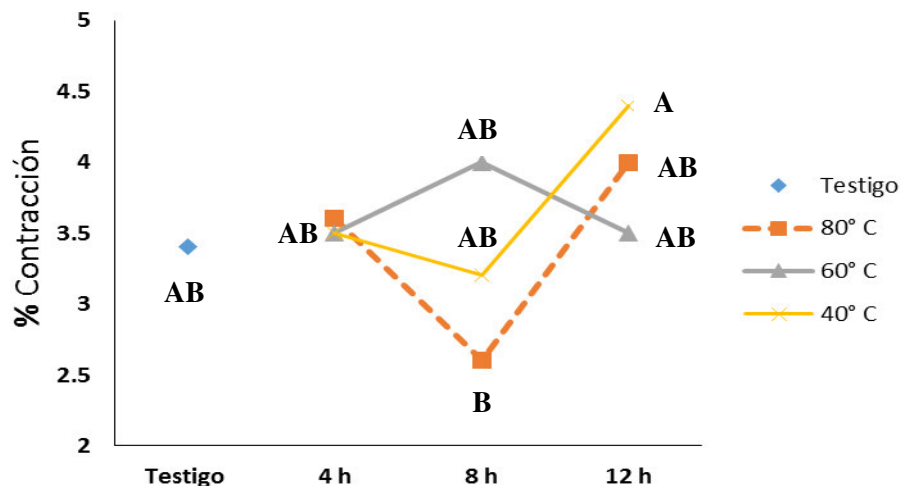


Figura 17. Contracción radial después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 4. Análisis de varianza de contracción tangencial.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	66.9883333	7.4431481	2.07	0.0365
Error	140	504.3000000	3.6021429		
Total	149	571.2883333			

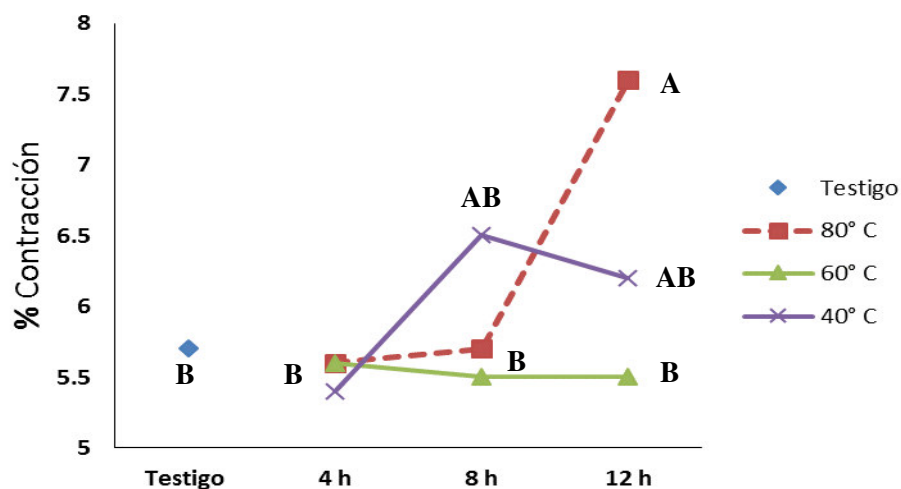


Figura 18. Contracción tangencial después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)



Cuadro 5. Resultados promedio y clasificación de los ensayos de contracción e hinchamiento.

		CONTRACCIÓN (%)			HINCHAMIENTO (%)		
		Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal
<b>Testigo</b>		3.4 (A)	5.7 (A)	0.2	3.5 (A)	6.1 (A)	0.2
<b>40°C</b>	<b>4 h</b>	3.5 (A)	5.4 (M)	0.1	3.7 (A)	5.8 (A)	0.1
	<b>8 h</b>	3.2 (A)	6.5 (A)	0.3	3.3 (A)	6.9 (A)	0.3
	<b>12 h</b>	4.4 (MA)	6.2 (A)	0.1	4.6 (MA)	6.6 (A)	0.1
<b>60°C</b>	<b>4 h</b>	3.5 (A)	5.6 (A)	0.2	3.6 (A)	6.0 (A)	0.2
	<b>8 h</b>	4.0 (A)	5.5 (M)	0.1	4.1 (MA)	6.0 (A)	0.1
	<b>12 h</b>	3.5 (A)	5.5 (M)	0.3	3.7 (A)	5.8 (A)	0.3
<b>80°C</b>	<b>4 h</b>	3.6 (A)	5.6 (A)	0.3	3.7 (A)	6.0 (A)	0.3
	<b>8 h</b>	2.6 (M)	5.7 (A)	0.2	2.7 (A)	6.0 (A)	0.2
	<b>12 h</b>	4.0 (A)	7.6 (MA)	0.4	4.2 (MA)	8.2 (MA)	0.4

Clasificación: (A)=Alta, (M)=Media, (MA)=Muy Alta; Fuentes (s/f).

Cuadro 6. Resultados generales del ensayo de contracción.

CONTRACCIÓN (%)																					
		80°C						60°C						40°C							
Testigo		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h			
R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg		
<b>Promedio</b>	3.4 5.7	3.6 5.6	2.6 5.7	4.0 7.6	3.5 5.6	4.0 5.5	3.5 5.5	3.5 5.4	3.2 6.9	4.4 6.2											
<b>Desv. Est.</b>	1.5 1.2	1.5 1.0	1.0 1.0	1.6 2.4	1.5 2.6	1.3 2.9	1.3 1.3	2.4 1.6	1.7 2.3	2.3 2.3											
<b>Máximo</b>	3.9 6.7	7.0 7.1	4.7 7.2	8.5 11.2	6.6 11	6.2 12.1	6.1 7.6	9.7 7.8	5.5 1.2	9.4 9.6											
<b>Mínimo</b>	2.9 4.6	2.1 2.7	1.2 3.3	2.0 2.7	0.3 1.6	2.0 1.7	1.5 3.2	0.2 3.1	0.3 4.9	2.2 0.6											
<b>C. V. %</b>	0.3 0.2	0.4 0.2	0.4 0.2	0.4 0.3	0.4 0.5	0.3 0.5	0.4 0.2	0.7 0.3	0.5 0.3	0.5 0.4											

Dirección: (R)= Radial, (Tg)= Tangencial

El hinchamiento en el sentido radial, presentó un valor máximo de 4.6% para condiciones de 40°C y 12 h y un valor mínimo de 3.3% para condiciones de 40°C y 8 h. En sentido tangencial el valor máximo fue de 8.2% bajo condiciones de 80°C y 12 h, el valor mínimo fue de 5.8% para condiciones de 40°C y 4 h (Cuadro 4, 8 y 9).

En el Cuadro 7 y Figura 14 se presenta el análisis estadístico del ensayo de hinchamiento radial después de la inmersión, en los cuales se puede notar que no existe diferencia estadística significativa, sin embargo, en el corte tangencial se aprecia que sí existe diferencia, notándose que con temperaturas de 80°C y 12 h es suficiente para la liberación de extraíbles que propician el hinchamiento (Cuadro 8, Figura 15).

Cuadro 7. Análisis de varianza de hinchamiento radial.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	37.1600238	4.1288915	1.23	0.2828
Error	130	438.7493333	3.3596103		
Total	139	473.9093571			

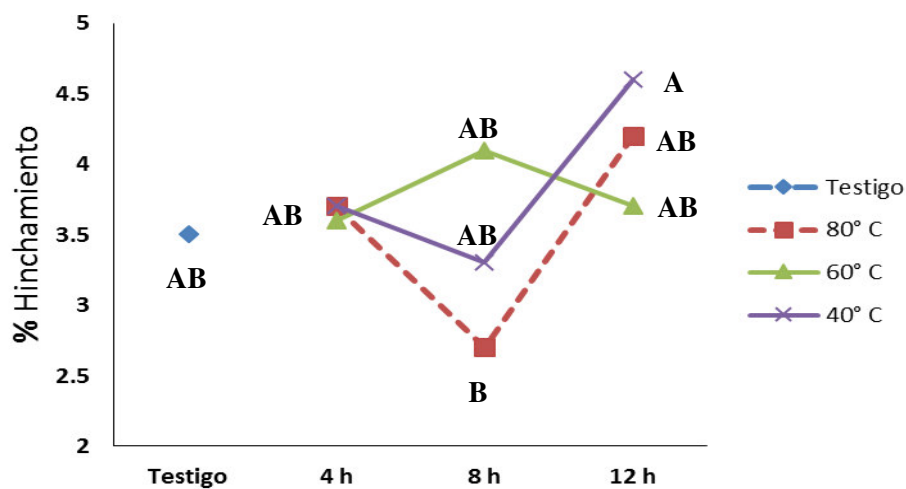


Figura 19. Hinchamiento radial después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 8. Análisis de varianza de hinchamiento tangencial.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	88.1216000	9.7912889	2.07	0.0360
Error	140	661.7093333	4.7264952		
Total	149	749.8309333			

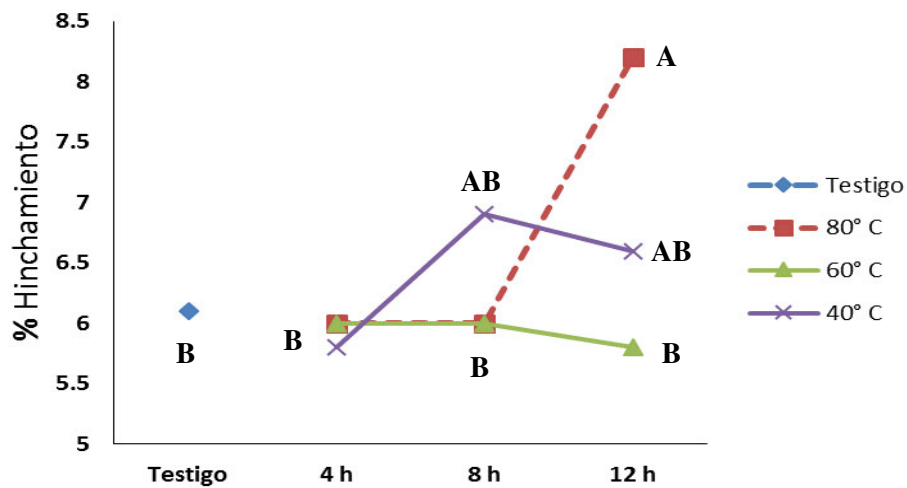


Figura 20. Hinchamiento tangencial después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 9. Resultados generales del ensayo de hinchamiento.

<b>HINCHAMIENTO (%)</b>																					
		80°C						60°C						40°C							
Testigo		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h			
R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg	R	Tg		
<b>Promedio</b>	3.5 6.1	3.7 6.0	2.7 6.0	4.2 8.2	3.6 6.0	4.1 6.0	3.7 5.8	3.7 5.8	3.3 6.9	4.6 6.6											
<b>Desv.Est.</b>	1.7 1.4	1.7 1.1	1.1 1.2	1.8 2.7	1.6 3.0	1.4 3.4	1.4 1.4	2.7 1.8	1.8 1.6	2.6 2.6											
<b>Máximo</b>	4.0 7.2	7.5 7.7	4.9 7.8	9.3 12.6	7.1 12.4	6.6 13.7	6.5 8.3	10.7 8.5	5.9 10.5	10.3 10.6											
<b>Mínimo</b>	3.0 4.9	2.2 2.8	1.2 3.4	2.1 2.8	0.3 1.6	2.1 1.7	1.5 3.3	0.2 3.2	0.3 5.2	2.3 0.6											
<b>C. V. %</b>	0.3 0.3	0.4 0.2	0.4 0.2	0.4 0.3	0.4 0.5	0.3 0.6	0.4 0.2	0.7 0.3	0.5 0.2	0.6 0.4											

Dirección: (R)=Radial, (Tg)= Tangencial

## 8.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 8.2.1. Compresión paralela

El módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela de la madera de *Eucalyptus nitens* fue de 56 N/mm<sup>2</sup>. Sin embargo, cuando se aplicó el tratamiento de inmersión éste provocó una disminución de resistencia, donde se aprecia claramente que existe diferencia estadística significativa entre las probetas utilizadas como testigo y las probetas después de inmersión en agua caliente. Llegando a reducir el MOR hasta 32.3% bajo condiciones de 60°C y 8 h (Cuadros 10 y 11, Figura 16). Se puede deducir que la inmersión en agua caliente disminuye la resistencia de la madera sometida a esfuerzos de compresión por los extraíbles liberados durante el tratamiento. Esta reducción de resistencia pudiera favorecer en procesos de aserrío agilizando el tiempo de producción y menor desgaste de las sierras.

Lopez-Perez *et al.* (2003) reportaron una reducción de 14% en compresión paralela a la fibra en madera de *Eucalyptus camaldulensis*, al utilizar madera seca (59 N/mm<sup>2</sup>) y madera saturada al 70% de contenido de humedad (45 N/mm<sup>2</sup>).

Gonzalo (2001), citado por López-Pérez *et al.* (2003), reportaron valores de 44.5 N/mm<sup>2</sup> en madera juvenil de *Eucalyptus globulus*. Mientras, que Calonego *et al.* (2012), reportaron en madera de *Eucalyptus grandis* de 5 años y 11 meses de edad, valores superiores a los reportados en este trabajo de 86.24 N/mm<sup>2</sup> con un contenido de humedad de 12%. Por lo que se puede deducir que la especie influye en la resistencia a la compresión.

Cuadro 10. Análisis de varianza del módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	1998.800500	222.088944	4.78	<.0001
Error	70	3250.477500	46.435393		
Total	79	5249.278000			

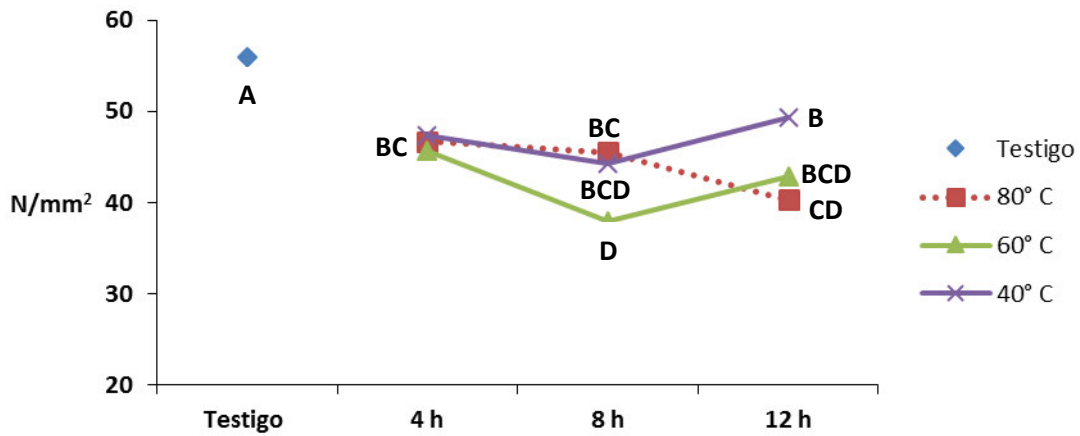


Figura 21. Módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela después de inmersión. (Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 11. Resultados generales de compresión paralela.

<b>MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EN COMPRESIÓN PARALELA (N/mm<sup>2</sup>)</b>										
Sin tratamiento		Con tratamiento								
	Testigo	80°C			60°C			40°C		
		4 h	8 h	12 h	4 h	8 h	12 h	4 h	8 h	12 h
<b>Promedio</b>	56.0	46.7	45.5	40.3	45.7	37.9	42.9	47.3	44.3	49.4
<b>Desv. Est.</b>	5.6	7.8	6.0	7.0	7.0	3.9	6.9	7.8	5.5	9.4
<b>Máximo</b>	69.3	56.7	51.3	48.1	52.0	46.3	52.8	57.1	53.5	62.4
<b>Mínimo</b>	47.0	38.9	33.8	30.1	34.5	33.7	34.3	35.6	37.3	37.2
<b>C. V. %</b>	10.1	16.6	13.2	17.3	15.4	10.3	16.0	16.4	12.5	19



### 8.2.2. Flexión estática

El módulo de ruptura (MOR) en el ensayo de flexión estática fue de 114.6 N/mm<sup>2</sup>, al aplicar el tratamiento de inmersión, se presentó una disminución en la resistencia obteniéndose pérdidas de hasta 45.2% bajo condiciones de 80°C y 8 h. Esto se puede corroborar en el análisis de varianza y la prueba de Duncan donde se aprecia que existe diferencia significativa de las probetas con tratamiento respecto de las probetas testigo (Cuadros 12 y 13, Figura 17).

Gorrini *et al.* (2004), encontraron valores inferiores en *Eucalyptus nitens* a los presentados en este estudio, 26 y 27.5 N/mm<sup>2</sup>, en arboles de 5 y 13 años respectivamente. Gonzalo (2001), citado por Lopez-Perez *et al.* (2003), reportó para madera de *Eucalyptus globulus* 97 N/mm<sup>2</sup> en resistencia a la flexión. Por otra parte, Calonego *et al.* (2012), encontraron valores superiores en madera de *Eucalyptus grandis* de 5 años y 11 meses con 11.8% de contenido de humedad (150.92 N/mm<sup>2</sup>), esto pudiera explicarse por la diferencia de especies.

Por otra lado, López-Pérez *et al.* (2003) encontraron una reducción de resistencia a la flexión en madera de *Eucalyptus camaldulensis* de 40% pasando de 124 a 75 N/mm<sup>2</sup> cuando cambiaron de madera seca a madera saturada al 70% de contenido de humedad. Siendo similar a lo encontrado en el presente trabajo.

Cuadro 12. Análisis de varianza del módulo de ruptura (MOR) en flexión estática.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	18245.15263	2027.23918	10.43	<.0001
Error	70	13607.67625	194.39538		
Total	79	31852.82888			

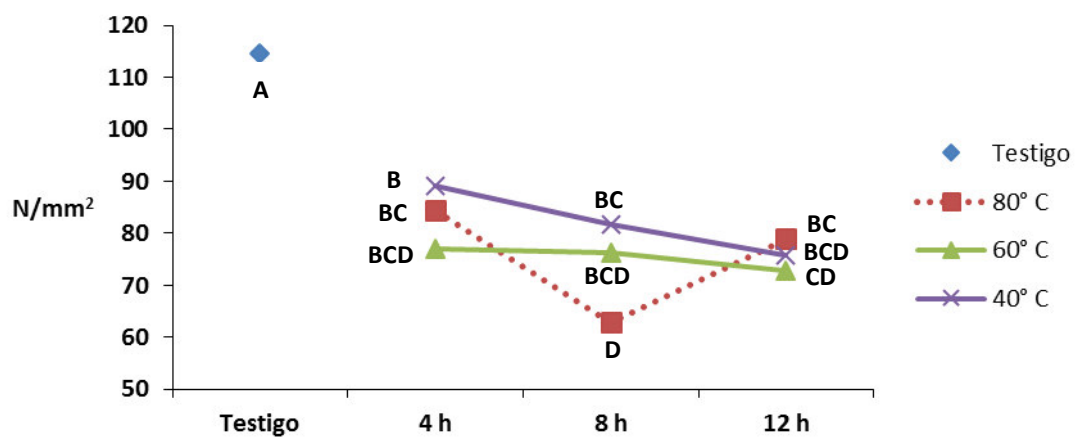


Figura 22. Módulo de ruptura (MOR) en flexión estática después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 13. Resultados generales de flexión estática.

<b>MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EN FLEXIÓN ESTÁTICA (N/mm<sup>2</sup>)</b>										
Sin tratamiento		Con tratamiento								
	Testigo	80°C			60°C			40°C		
		4 h	8 h	12 h	4 h	8 h	12 h	4 h	8 h	12 h
<b>Promedio</b>	114.6	84.3	62.8	78.9	76.9	76.3	72.7	89.0	81.8	75.7
<b>Desv. Est.</b>	17.9	13.3	9.1	13.1	8.4	11.0	9.8	17.6	15.5	13.6
<b>Máximo</b>	158.2	102.6	78.5	96.8	88.8	101.7	87.0	114.7	106.0	91.9
<b>Mínimo</b>	78.1	64.1	48.4	58.4	63.2	65.0	58.3	65.6	59.6	53.0
<b>C. V. %</b>	15.6	15.8	14.5	16.7	10.9	14.4	13.4	19.8	18.9	18.0

### 8.2.3. Dureza Janka

La madera de *Eucalyptus nitens* presentó una dureza longitudinal de 64.9 N/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, al aplicar el tratamiento de inmersión en agua caliente se presentó una pérdida de resistencia de hasta 42.37% bajo condiciones de 80°C y 12 h. La dureza en dirección lateral fue de 46 N/cm<sup>2</sup>, y de igual manera, después de aplicar el tratamiento se tuvo disminución de la resistencia de hasta 38.61% bajo condiciones de 80°C y 12 h.

En el análisis estadístico se encontró que existe diferencia estadística significativa entre las probetas testigo y las probetas con tratamiento de inmersión en agua. Donde se puede observar que la dureza tanto longitudinal como lateral va disminuyendo al aumentar el tiempo y la temperatura (Cuadros 14, 15 y 16 y Figura 18 y 19).

Calonego *et al.* (2012), encontraron valores de 186.2 N/mm<sup>2</sup>, muy superiores a los reportados en el presente estudio, en madera de *Eucalyptus grandis* de 6 años de edad. Lo que puede atribuirse a la diferencia de especies.

Por otra parte, López-Pérez *et al.* (2003) reportaron pérdida de resistencia en madera de *Eucalyptus camaldulensis* saturada a 70% de contenido de humedad respecto a madera seca, de hasta 32% en dirección lateral y hasta 40.2% en dirección longitudinal.

Cuadro 14. Análisis de varianza de dureza Janka en dirección longitudinal.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	29675.3140	3297.2571	4.46	0.0001
Error	290	214595.8877	739.9858		
Total	299	244271.2017			

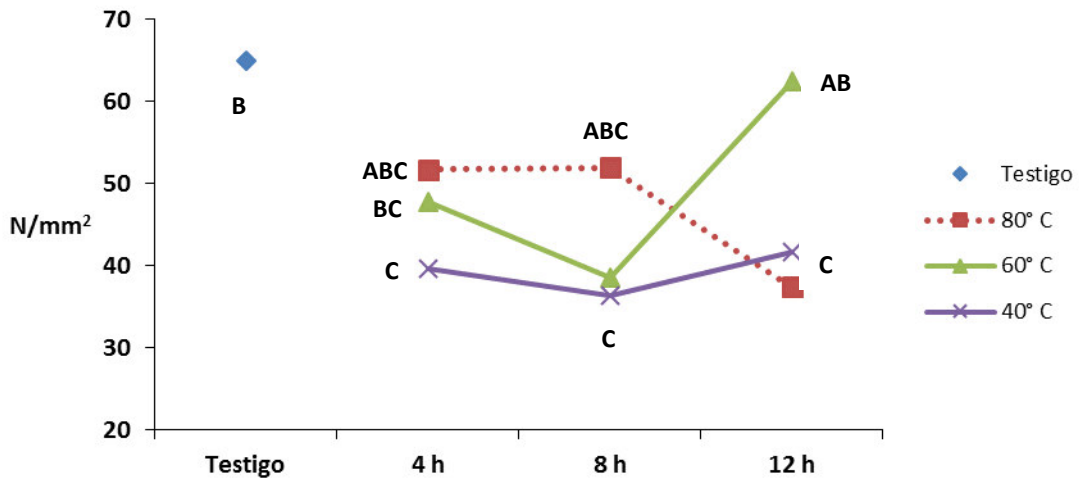


Figura 23. Dureza longitudinal después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 15. Análisis de varianza de dureza Janka en dirección lateral.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	17090.27470	1898.91941	28.66	<.0001
Error	290	19212.13100	66.24873		
Total	299	36302.40570			

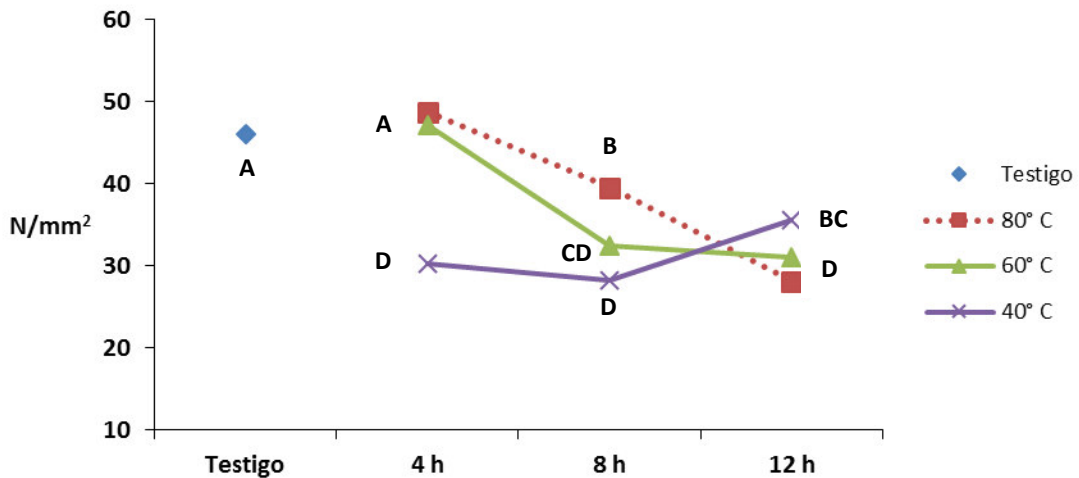


Figura 24. Dureza lateral después de inmersión.  
(Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 16. Resultados generales de dureza Janka.

<b>DUREZA JANKA (N/cm<sup>2</sup>)</b>																				
Sin tratamiento			Con tratamiento																	
	Testigo		80°C						60°C						40°C					
			4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h	
	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt
<b>Promedio</b>	64.9	46.1	51.7	48.7	51.9	39.5	37.4	28.1	47.8	47.1	38.5	32.5	47.8	31.1	39.6	30.2	36.3	28.3	41.7	35.6
<b>Desv. Est.</b>	13.4	10.0	7.9	7.9	13.2	11.0	8.9	7.2	9.7	8.7	8.1	7.2	4.9	7.0	10.9	8.8	5.2	4.5	6.8	7.8
<b>Máximo</b>	105	66.7	66.2	63.8	85.3	61.8	75.5	51.0	68.7	63.8	67.7	51.0	58.9	49.1	67.7	49.1	48.1	43.2	54.0	49.1
<b>Mínimo</b>	50.0	30.9	37.9	30.4	36.3	15.7	30.4	15.7	34.3	29.4	29.4	24.5	39.2	20.6	27.5	17.7	28.4	17.7	29.4	21.6
<b>C. V. %</b>	20.6	21.7	15.2	16.2	25.5	27.8	23.7	25.6	20.2	18.5	21.0	22.0	10.3	22.3	27.4	29.0	14.4	15.9	16.4	21.9

Dirección: (Lg)= Longitudinal, (Lt)= Lateral

#### 8.2.4. Resistencia a la extracción de clavos

La resistencia a la extracción de clavos de la madera de *Eucalyptus nitens* fue de 11.6 y 6.3 N en dirección lateral y longitudinal respectivamente. El efecto del tratamiento de inmersión en agua caliente sobre la resistencia a la extracción de clavos no fue del todo claro, tal como lo muestran los análisis estadísticos, por un lado, la inmersión en agua caliente aumentó la resistencia a la extracción de clavos en dirección longitudinal y lateral con temperaturas de 60°C, posiblemente a un mejor reacomodo de las fibras al eliminar algunas sustancias extractivas; y por otra parte la inmersión en agua aumentó la resistencia a la extracción en dirección lateral utilizando temperaturas de 60°C y disminuyó con temperaturas de 40 y 80 °C (Cuadro 17, 18 y 19, Figura 20 y 21).

Cabe mencionar, que la resistencia que opone la madera a rajarse por la fuerza de extracción de clavos en dirección lateral y longitudinal tanto en probetas tratadas como sin tratamiento fue excelente (90-100%) al presentar un 100% de probetas libres de rajaduras de acuerdo a Echenique-Manrique (1994).

Cuadro 17. Análisis de varianza de extracción de clavos en dirección longitudinal.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	494.320971	54.924552	9.52	<.0001
Error	280	1615.652167	5.770186		
Total	289	2109.973138			

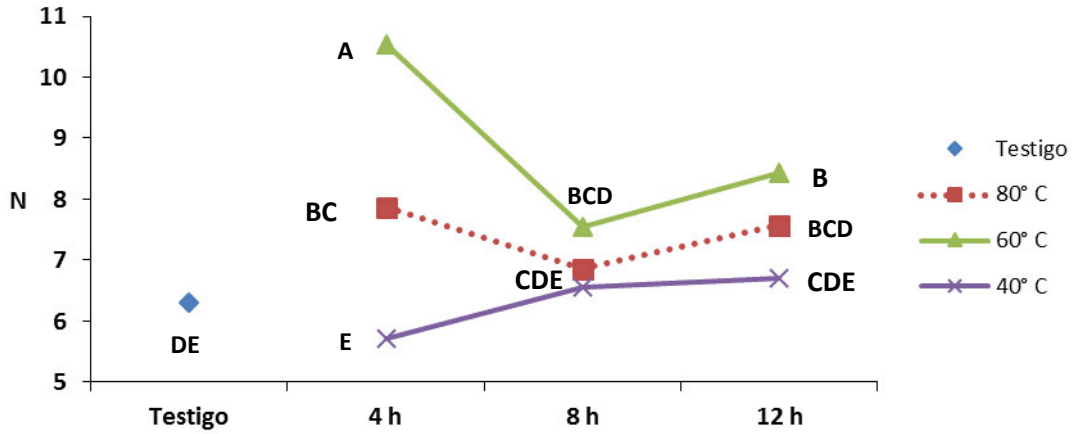


Figura 25. Extracción de clavos en dirección longitudinal después de inmersión. (Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)

Cuadro 18. Análisis de varianza de extracción de clavos en dirección lateral.

Datos	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Tratamiento	9	702.911395	78.101266	10.41	0.0001
Error	568	4259.605190	7.499305		
Total	577	4962.516585			

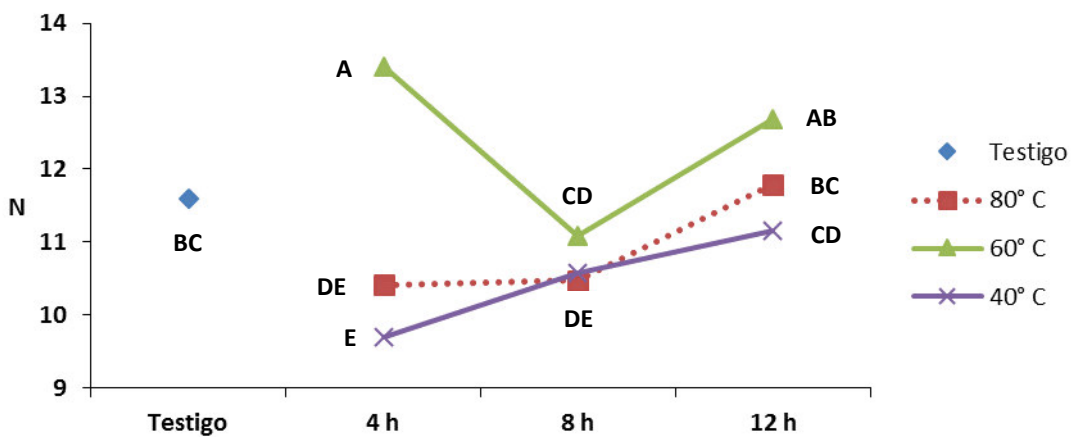


Figura 26. Extracción de clavos en dirección lateral después de inmersión. (Letras diferentes indican que hay diferencia estadística significativa con nivel de confianza 95%.)



Cuadro 19. Resultados generales de extracción de clavos.

EXTRACCIÓN DE CLAVOS (N)																					
Sin tratamiento			Con tratamiento																		
	Testigo		80°C						60°C						40°C						
			4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h		4 h		8 h		12 h		
	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	Lt	Lg	
<b>Promedio</b>	11.6	6.3	10.4	7.9	10.5	6.9	11.8	7.6	13.4	10.5	11.1	7.5	12.7	8.4	9.7	5.7	10.6	6.6	11.1	6.7	
<b>Desv. Est.</b>	2.3	2.2	2.7	3.6	2.6	2.5	2.7	2.3	3.0	2.7	2.5	1.8	2.4	2.1	2.6	2.2	2.8	1.9	2.8	1.8	
<b>Máximo</b>	17.7	10.9	17.8	17.9	20.0	13.0	17.4	12.3	22.3	17.4	16.1	11.3	18.8	14.2	17.2	10.6	18.1	13.2	18.2	10.8	
<b>Mínimo</b>	6.8	2.5	2.9	2.3	6.3	2.5	3.9	4.4	8.4	6.3	6.0	5.3	7.7	5.4	5.2	2.0	6.4	4.1	6.5	2.5	
<b>C. V. %</b>	20.3	34.2	25.9	45.9	24.7	36.8	22.9	30.3	22.7	25.3	22.9	23.3	18.8	24.7	26.6	39	26.6	28.7	25	27.3	

Dirección: (Lt)= Lateral, (Lg)= Longitudinal

En el cuadro 20 se muestran los resultados promedio de acuerdo a Echenique-Manrique (1994) del módulo de ruptura (MOR) en compresión paralela y flexión estática, dureza Janka en dirección lateral y longitudinal y resistencia a la extracción de clavos en dirección lateral y longitudinal.

Cuadro 20. Resultados promedio y clasificación de los ensayos de compresión paralela, flexión estática, dureza Janka y extracción de clavos.

		<b>MOR, Compresión paralela (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR, Flexión estática (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Dureza Janka, dirección lateral (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Dureza Janka, dirección longitudinal (N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Extracción de clavos, dirección lateral (N)</b>	<b>Extracción de clavos, dirección longitudinal (N)</b>
	Testigo	56.0 (M)	114.6 (M)	46.1 (MB)	64.9 (MB)	11.6 (E)	6.3 (E)
<b>40°C</b>	4 h	47.3 (M)	89.0 (M)	30.2 (MB)	39.6 (MB)	9.7 (E)	5.7 (E)
	8 h	44.3 (M)	81.8 (B)	28.3 (MB)	36.3 (MB)	10.6 (E)	6.6 (E)
	12 h	49.4 (M)	75.7 (B)	35.6 (MB)	41.7 (MB)	11.1 (E)	6.7 (E)
<b>60°C</b>	4 h	45.7 (M)	76.9 (B)	47.1 (MB)	47.8 (MB)	13.4 (E)	10.5 (E)
	8 h	37.9 (B)	76.3 (B)	32.5 (MB)	38.5 (MB)	11.1 (E)	7.5 (E)
	12 h	42.9 (B)	72.7 (B)	31.1 (MB)	62.5 (MB)	12.7 (E)	8.4 (E)
<b>80°C</b>	4 h	47.7 (M)	84.3 (B)	48.7 (MB)	51.7 (MB)	10.4 (E)	7.9 (E)
	8 h	45.5 (M)	62.8 (B)	39.5 (MB)	51.9 (MB)	10.5 (E)	6.9 (E)
	12 h	40.3 (B)	78.9 (B)	28.1 (MB)	37.4 (MB)	11.8 (E)	7.6 (E)

Clasificación: (B)= Bajo, (MB)= Muy Baja, (M)=Medio, (E)=Excelente.

## 9. CONCLUSIONES

Con base a los resultados encontrados y analizados en el presente trabajo sobre el efecto de inmersión en agua caliente en las propiedades físicas y mecánicas de *Eucalyptus nitens*, se concluye que:

- Por su característica estética puede ser aprovechada en chapa, ya que el tratamiento de inmersión en agua caliente disminuye la dureza y podría facilitar el desenrollo y/o rebanado.
- Los cambios dimensionales de contracción e hinchamiento se vieron reflejados principalmente en el corte tangencial al aplicar la inmersión en agua.
- El aumento de los valores de hinchamiento y contracción se debió a la eliminación de extraíbles ocasionando espacios huecos en la madera.
- La inmersión en agua caliente disminuye la resistencia mecánica en flexión estática hasta 45.2% en condiciones de 80°C y 8 h.
- El tratamiento de inmersión en agua caliente disminuye la resistencia mecánica en compresión paralela hasta 32.3% en condiciones de 60°C y 8 h.
- La inmersión en agua caliente disminuye la resistencia mecánica en dureza longitudinal hasta 42.3% en condiciones de 80°C y 12 h.
- El tratamiento de inmersión en agua caliente disminuye la resistencia mecánica en dureza lateral hasta 38.6% en condiciones de 80°C y 12 h.
- En probetas con tratamiento, la madera de *Eucalyptus nitens* podría ser utilizada para marcos, barandales, molduras, puertas y muebles.

## 10. OBSERVACIONES

- La edad de la madera de *Eucalyptus nitens* utilizada en el presente estudio fue de 8 años, por lo que presentó una alta proporción de madera juvenil, lo que ocasionó tensiones, grietas y rajaduras al momento de ser aserrada.
- El valor agregado de *Eucalyptus nitens* como madera aserrada es limitado, debido al alto porcentaje de grietas internas y superficiales e intenso colapso.
- A una temperatura de 80°C, la cantidad de extraíbles fue mayor, pudiendo notarse en el cambio de coloración del agua tornándose de color café oscuro.
- La madera de *Eucalyptus nitens* es un buen material para la fabricación de tableros aglomerados MDF de partículas y de fibra por su rápido crecimiento y densidad media.
- La madera de *Eucalyptus nitens* sin tratamiento de inmersión en agua caliente puede ser usada como elementos estructurales y no estructurales a un CH alrededor del 12%, por ejemplo, polines, vigas, viguetas, tablas, marcos, barandales, dinteles, molduras y puertas.
- Debido al color que presenta la madera, es apta para la elaboración de pulpa para papel.

## 11. RECOMENDACIONES

Para tener un conocimiento más amplio acerca del *Eucalyptus nitens* es recomendable:

- Realizar el ensayo de maquinado.
- Realizar análisis químico.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Ananías R. A.; Díaz C.; Leandro L. 2009. Estudio preliminar de la contracción y el colapso en *Eucalyptus nitens*. Maderas, ciencia y tecnología.
- Barahona Olmos G. L. 2005. Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo. Memoria profesional. Universidad de Chile. Facultad de ciencias forestales.
- Bonilla Chaves R. 2012. Determinación de los extraíbles de algunas de las especies más utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del reventazón, Cartago, Costa Rica. Tesis profesional. Instituto tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería forestal.
- Borgoño Acosta A. E. 2006. Comportamiento pulpable de *Eucalyptus nitens* normal y suprimido crecido en la X región de Chile. Tesis profesional. Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias forestales.
- Calonego F. W.; Severo E. T. D.; Ballarín A. W. 2012. Physical and mechanical properties of thermally modified Wood from *Eucalyptus grandis*. Springer-Verlag.
- Cerriteño Espinoza F. R. 1995. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Casuarina equisetifolia* L. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- Coello Ruiz I. 2006. Composición química de la madera de tres especies de eucalipto. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- COFAN (Comisión forestal de América del Norte). 1999. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera. Consejo nacional de la madera en la construcción. 2da ed. Universidad Autónoma Chapingo. División de ciencias forestales.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) Tomo II. 2007. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México.
- CONAFOR. (Comisión Nacional Forestal). 2012. Plantaciones Forestales. [Internet]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/plantaciones>. [consulta: octubre 30, 2013].

- Echenique-Manrique R.; Plumtre R. A. 1994. Guía para el uso de maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara.
- Escobedo Torres S. M. 2005. Propiedades físico mecánicas y proceso de secado de madroño (*Arbutus xalapensis*). Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- FAO. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. Italia.
- Fuentes Salinas M. s/f. Apuntes Para el Curso de Tecnología de la Madera (I). Serie de Apoyo Académico No. 33. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.
- García Esteban L.; Guindeo Casasús A.; Peraza Oramas C.; de Palacios de Palacios P. 2002. La madera y su tecnología. Mundi Prensa. Madrid.
- Garibay García G. A.; Casimiro Cenobio J. C.; Espinoza Herrera R.; Sosa Villanueva H. M. 2014. Simposium Internacional. Día del Forestal. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Comisión Forestal del Estado de Michoacán.
- Gómez Reyes L. 2010. Tratamientos de Control Fitosanitario en Madera Maciza y Embalajes. Tesina. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- Gorrini B.; Poblete H.; Hernández G.; Dunn F. 2004. Tableros de partículas y MDF de *Eucaliptus nitens*: ensayos a escala industrial.
- Herrera F. M. A. 1996. Efecto de la inmersión de la madera en agua sobre su permeabilidad. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias forestales.
- Inti Maderas. s/f. Aplicación de la Resolución 03/05 de la SAGPyA (NIMF#15 de FAO) para el Tratamiento Térmico de Embalajes de Madera Utilizado en el Comercio Internacional. [Internet]. Disponible en: <<http://www.inti.gov.ar/maderaymuebles/pdf/TratTermico.pdf>>. [consulta: octubre 30, 2013].
- Infor. s/f. Datos Tecnológicos del *Eucalyptus nitens*. [Internet]. Disponible en: <<http://www.nitens.cl/datos%20tecnologicos.pdf>>. [consulta: octubre 30, 2013].

- ISO (International Organization for Standardization) 1981. Standard No. 4469. Wood – Determination of radial and tangential shrinkage.
- ISO (International Organization for Standardization) 1982. Standard No. 4858. Wood – Determination of volumetric shrinkage.
- ISO (International Organization for Standardization) 1975. Standard No. 3132. Wood - Testing in compression perpendicular to grain.
- ISO (International Organization for Standardization) 1975. Standard No. 3350. Wood – Determination of static hardness.
- ISO (International Organization for Standardization) 1975. Standard No. 3133. Wood – Determination of ultimate strength in static bending.
- ISO (International Organization for Standardization) 1975. Standard No. 3130. Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
- Kibblewhite R.; Johnson P. B.; Ashelbourne C. 2001. Kraft pulp qualities of *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maidenii*, at ages 8 and 11 years. New Zealand Journal of Forestry Science.
- López-Pérez I. Fuentes-Salinas M. Borja de la Rosa A. Honorato-Salazar J. A. 2003. Características anatómicas y físico mecánicas de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* DHNH proveniente de la plantación “Ing, Mario Ávila” en Texcoco, Estado de México. Revista Chapingo.
- Montoya Oliver J. M. 1995. El eucalipto. Mundi-prensa.
- Peredo M., Figueroa R. 1992. Secado artificial de madera de coigue (*Nothofagus dombeyi*).
- Perez Tello I. 1994. Propiedades físico mecánicas de la madera de *Bucida buceras* y *Lysiloma bahamensis*. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- Salas Langer V. N. 2005. Impregnabilidad de la Madera de *Eucalyptus nitens*. Tesis. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.
- Sánchez Vargas, T.; Bocanegra Ojeda, S. 2006. Manual de Prácticas de laboratorio de física y mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.
- Siau J. F. 1984. Transport processes in Wood, Springer-Verlag.

Sotomayor Castellanos J. R. 2002. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Coordinación de la investigación científica.

Universidad de vigo. 2014. *Eucalyptus nitens*. [Internet]. Disponible en: <<http://silvicultura.wikispaces.com/Eucalyptus+nitens>>. [consulta: julio 01, 2014].



### 13. ANEXOS

ANEXO 1: Clasificación de las propiedades físicas (Echenique-Manrique, 1994).

<b>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	
Muy bajo	<0.26
Bajo	0.27-0.38
Mediano	0.39-0.56
Alto	0.57-0.70
Muy alto	0.71-0.89
Extremadamente alto	>0.90

ANEXO 2: Clasificación de las propiedades mecánicas (Echenique-Manrique, 1994)

<b>Flexión estática</b>					
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>					
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
MOR	<400	401-900	901-1350	1351-1800	>1800
MOE x 10 <sup>3</sup>	<70	71-100	101-150	151-200	>200
<b>N/mm<sup>2</sup></b>					
MOR	<39	39-88	89-132	13-176	>176
MOE x 10 <sup>3</sup>	<6860	6860-9800	9900-14700	14800-19600	>19600

<b>Compresión paralela</b>					
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>					
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
MCS	<300	301-450	451-700	701-950	>950
<b>N/mm<sup>2</sup></b>					
MOR	<29	29-44	45-68	69-93	>93

---

**Dureza janka**

---

	<b>Kg</b>				
Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lateral	<200	201-400	401-800	801-1200	>1200
Transverso	<250	251-500	501-1000	1001-1500	>1500
	<b>N</b>				
Lateral	<1960	1961-329	3921-784	7841-1176	>11760
Transverso	<2450	2451-4900	4901-9800	9801-14700	>14700

---

---

**Resistencia a rajarse por tornillos y clavos (%)**

---

Excelente	100-90%
Bueno	89-70%
Aceptable	69-50%
Malo	49-30%
Muy malo	29-0%

---