



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* PROCEDENTE
DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA
AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA,
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

JOSELYN MARÍA FREIRE CRUZ

RIOBAMBA - ECUADOR

2019

HOJA DE CERTIFICACIÓN

El tribunal de trabajo de titulación certifica, que el trabajo de investigación titulado: **“CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, de responsabilidad de la señorita Joselyn María Freire Cruz , ha realizado las correcciones correspondientes señaladas por el tribunal y se encuentra apto para su presentación y sustentación.

TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda

DIRECTOR

22 - 10 - 2019

Fecha



Ing. Juan Manuel Martínez Nogales

MIEMBRO

22 - 10 - 2019

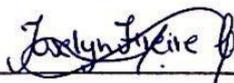
Fecha

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Joselyn María Freire Cruz, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 22 de octubre del 2019



Joselyn María Freire Cruz
C.C. 180477552-4

AUTORIA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual de la autora, de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.

DEDICATORIA

A Dios, por ser el pilar más importante en mi vida, quien guio cada uno de mis pasos durante todo este largo camino, por llevarme a cumplir esta gran meta.

A mi madre, Inés Cruz, mi todo, quien estuvo conmigo siempre y supo darme la fuerza necesaria para seguir adelante y no desmayar, quien con su ejemplo, sus sabios consejos, su amor y apoyo incondicional me supo sacar adelante.

A mi familia, mi abuelito, mi padre, mis tíos y primos; en especial a María José y Jorge, a cada uno de ustedes, porque a pesar de la distancia han estado siempre a mi lado en todo este proceso, en los momentos más difíciles, por cada una de las palabras de aliento y ese millón de fuerzas que me brindaron, por sostenerme siempre a pesar de cualquier adversidad.

A mi abuelita que desde el cielo siempre me ha cuidado y guiado en cada paso que doy.

A mis mejores amigos Fernanda, Sebastián, Camila y Deymar, por haberse convertido en mi familia, por todo este tiempo juntos, por tantos momentos compartidos, risas y llantos, por ser el motivo para no rendirme en esta larga travesía.

Joselyn María Freire Cruz.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, quien es el gran amor de mi vida, mi guía y mi fortaleza.

A los Ingenieros Eduardo Salazar Castañeda como director de tesis y Juan Martínez Nogales como asesor, por su apoyo y tiempo, al igual que su paciencia y ganas para ayudarme a formar profesionalmente.

A Daniela por estar conmigo y apoyarme desde el primer día.

A Esthefanny y Johana por haber formado parte fundamental de este trabajo.

Gracias por su amistad.

A cada uno de los docentes y autoridades de la facultad, gracias a la Ingeniera Norma Lara, Ingeniero Danilo Román, por brindarme sus enseñanzas y convertirse en pilares fundamentales a lo largo de todo este periodo académico, especialmente al Ingeniero Hugo Rodríguez, por ser un gran maestro y sobretodo mí gran amigo, gracias por su carisma y sus consejos.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., por haberme abierto las puertas para realizar esta investigación, gracias a todas las personas que conforman el área Forestal, en especial a María Gallardo y Roberto Neumann. De igual manera a Juan Francisco Aguirre y quienes forman parte del área de Producción, por estar conmigo y brindarme todos sus conocimientos. Gracias a todo el equipo de trabajadores que supieron darme su ayuda. A cada uno de ustedes mil gracias, me hicieron sentir como en casa.

Además quiero hacer extensivo mi reconocimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, principalmente a la Escuela de Ingeniería Forestal por haberme brindado el conocimiento necesario y hacer de mí hoy, una profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

I. “CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Eucalyptus nitens</i> PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”.	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. IMPORTANCIA.....	1
B. PROBLEMA.....	2
C. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
A. OBJETIVO GENERAL.....	3
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
IV. HIPÓTESIS	3
A. HIPÓTESIS NULA	3
B. HIPÓTESIS ALTERNANTE	3
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
A. <i>Eucalyptus</i> EN EL ECUADOR	4
B. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA ESPECIE A INVESTIGAR	4
1. Clasificación Taxonómica	4
2. Descripción de la Especie	4
C. INDUSTRIA FORESTAL.....	6
D. LA MADERA.....	6
1. MADERA DE <i>Eucalyptus nitens</i>	7
E. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA.....	8

1. pH.....	9
F. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA	9
1. Contenido de Humedad	10
2. Densidad	10
3. Peso Específico	12
G. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	13
1. Flexión Estática.....	14
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
A. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR.....	16
1. Características generales.....	16
2. Localización.....	16
3. Ubicación Geográfica, Características Climáticas y Edafológicas.....	17
4. Clasificación ecológica.....	20
B. MATERIALES Y EQUIPOS	22
1. Materiales de Campo	22
2. Materiales y Equipo de Oficina	22
3. Materiales y Equipo de Laboratorio	22
C. METODOLOGÍA.....	22
1. Selección de los árboles para el Estudio.....	22
2. Preparación de las trozas.....	23
3. Preparación de probetas y material para estudio	26
4. Determinación de las propiedades Químicas de la Madera.....	28
a. Determinación de pH.....	28
5. Determinación de las propiedades Físicas de la Madera	30
a. Determinación del Contenido de Humedad.....	30
b. Determinación de la Densidad.....	31
c. Determinación del Peso Específico	33

6.	Determinación de las propiedades Mecánicas de la Madera	36
a.	Flexión Estática.....	36
7.	Análisis de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de <i>Eucalyptus nitens</i>	37
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
A.	PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE <i>Eucalyptus nitens</i>	38
1.	Determinación de pH	38
a.	Madera estado verde	38
b.	Madera estado anhidro.....	39
c.	Corteza estado anhidro.....	39
B.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE <i>Eucalyptus nitens</i>	41
1.	Contenido de Humedad	41
2.	Densidad	42
a.	Densidad Estado Verde.....	42
b.	Densidad Seca al Horno.....	43
c.	Densidad Básica.....	44
3.	Peso Específico	45
a.	Peso Específico húmedo	45
b.	Peso Específico seco	46
c.	Peso específico básico	47
C.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Eucalyptus nitens</i>	50
1.	Flexión Estática.....	50
VIII.	CONCLUSIONES	53
IX.	RECOMENDACIONES	55
X.	RESUMEN	56

XI. SUMMARY	57
XII. BIBLIOGRAFÍA	58
XIII. ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la madera según su densidad básica.....	11
Tabla 2. Clasificación de las propiedades mecánicas evaluadas, según ASTM.....	15
Tabla 3. Área de Estudio.....	16
Tabla 4. Ubicación geográfica subrodal 0107 E2.....	17
Tabla 5. Ubicación geográfica subrodal 0102 G2.	18
Tabla 6. Ubicación geográfica subrodal 0402 E2.....	18
Tabla 7. Ubicación geográfica subrodal 0404 E1.....	19
Tabla 8. Ubicación geográfica subrodal 0502 E2.....	19
Tabla 9. Ubicación geográfica subrodal 0424 E2.....	20
Tabla 10. Identificación de árboles para el estudio.....	23
Tabla 11. Codificación de material de los árboles del estudio (árbol 1).....	26
Tabla 12. pH de la madera en estado verde y anhidro.	38
Tabla 13. Determinación del pH de la corteza en estado anhidro.	40
Tabla 14. Tiempo estimado de secado de madera de Eucalyptus nitens.	50
Tabla 15. Valores de flexión estática y módulo de elasticidad de cada árbol en estudio.	50
Tabla 16. Tipos de fallos en las pruebas flexión estática.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Contenido de humedad de los árboles en los diferentes subrodales.	41
Gráfico 2. Densidad en estado verde de los árboles en los diferentes subrodales.	42
Gráfico 3. Densidad seca al horno de los árboles en los diferentes subrodales.	43
Gráfico 4. Densidad básica de los árboles en los diferentes subrodales.	44
Gráfico 5. Peso específico húmedo de los árboles en los diferentes subrodales.	45
Gráfico 6. Peso específico seco de los árboles en los diferentes subrodales.	46
Gráfico 7. Peso específico básico de los árboles en los diferentes subrodales.	47
Gráfico 8. Curva de secado al horno (103 ± 2 °C) de muestras de madera de <i>Eucalyptus nitens</i>	48
Gráfico 9. Curva de secado al aire libre condición 1 de muestras de madera de <i>Eucalyptus nitens</i>	48
Gráfico 10. Curva de secado al aire libre condición 2 de muestras de madera de <i>Eucalyptus nitens</i>	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la escala de pH (Aguila, 2009).....	9
Figura 2. Gráfica carga – deformación (Fritz, 2007).....	13
Figura 3. Tipos de fallo en flexión estática.....	15
Figura 4. Esquema de trozado del fuste (Norma ISO 4471 -1982).	25

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el área de estudio.21

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado otorgado por la empresa AGLOMERADOS COTOPAXI S.A...	63
Anexo 2. Selección de los árboles para el estudio.....	64
Anexo 3. Toma de alturas y diámetros de los árboles.....	64
Anexo 4. Talado, tumbado y apeo de los árboles.....	65
Anexo 5. Toma y registro de medidas.....	65
Anexo 6. Toma de medidas para elaboración de trozas y rodelas.....	66
Anexo 7. Ejemplo de codificación de trozas de los árboles para el estudio (árbol 1)....	66
Anexo 8. Identificación y codificación del material de estudio.....	67
Anexo 9. Elaboración de probetas para las diferentes pruebas.....	67
Anexo 10. Curva de secado aserrín de madera de Eucalyptus nitens para pruebas de pH.	69
Anexo 11. Material para pruebas de pH, aserrín de madera (verde y anhidra) y corteza.	69
Anexo 12. Pruebas de pH de madera y corteza Eucalyptus nitens.....	70
Anexo 13. Realización de pruebas físicas y mecánicas.....	71
Anexo 14. Contenido de Humedad en los diferentes árboles.....	72
Anexo 15. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N1.....	73
Anexo 16. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N2.....	73
Anexo 17. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N3.....	73
Anexo 18. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N4.....	73
Anexo 19. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N5.....	73
Anexo 20. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N6.....	73
Anexo 21. Material para elaboración de curvas de secado.....	73

I. “CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”.

II. INTRODUCCIÓN

A. IMPORTANCIA

A nivel mundial las plantaciones forestales comerciales han aumentado de manera acelerada en las últimas décadas. La industria forestal ecuatoriana tiene un fuerte impacto en la economía de nuestro país al producir cantidades relevantes de madera, dividiendo este sector en industria primaria y secundaria, mediante la industrialización de los productos forestales (Ecuador Forestal, 2019), destacando a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., líder en la creación de plantaciones, producción y venta de tableros de madera (Aglomerados Cotopaxi, 2019).

Se han alcanzado diversos niveles tecnológicos dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de mercado de sus productos, por lo que al país se le considera como uno de los mejores en América Latina.

Sin embargo el sector forestal industrial nacional, enfrenta retos cada vez más complicados, donde el tema de calidad es pieza fundamental para subsistir en la competencia, la industria forestal necesita un suficiente conocimiento tecnológico de las especies forestales y un uso adecuado, en cuanto compete a su industrialización (Paraguay, 2013).

Es de gran importancia, contar con un sistema de clasificación estructural, de las especies forestales y en base de análisis de laboratorio asignar a cada especie sus valores de resistencia más confiables, con el objeto de brindarles un mejor uso y desempeño (Peniche, 1990).

B. PROBLEMA

Actualmente el desarrollo industrial forestal en nuestro país se encuentra en pleno auge, son varias empresas que están implementando nuevas líneas de producción, incrementando la utilización de diferentes especies, destacando el caso de *Eucalyptus nitens*.

Al ser esta una especie introducida en nuestro país al momento no se cuenta con información completa que ayude a un aprovechamiento eficiente para así crear demanda en el mercado local y en otros países.

C. JUSTIFICACIÓN

Las aplicaciones de la madera en la industria forestal actualmente son de vital importancia, sin embargo, para poder proporcionarle un buen uso es necesario conocer sus diferentes características y propiedades, para su correcta utilización.

Aglomerados Cotopaxi S.A. es una industria forestal líder en la producción y venta de tableros de madera, por tal motivo la empresa ha visto la necesidad de realizar el presente estudio con el objetivo de reunir los elementos y la información necesaria para conocer el comportamiento químico, físico y mecánico de la madera de *Eucalyptus nitens*, como una contribución al conocimiento tecnológico de esta especie forestal comercial destinada a su utilización en la industria y lograr de esta manera un correcto y eficaz aprovechamiento de esta especie como materia prima para la fabricación de tableros.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* procedente de plantaciones pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el pH en muestras de madera de *Eucalyptus nitens* de diferentes sitios de plantación de la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.
2. Determinar el contenido de humedad, la densidad y el peso específico en muestras de madera de *Eucalyptus nitens* de diferentes sitios de plantación de la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.
3. Evaluar las propiedades mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens*.

IV. HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS NULA

Las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* no difieren de un sitio de plantación a otro.

B. HIPÓTESIS ALTERNANTE

Las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* difieren de un sitio de plantación a otro.

V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. *Eucalyptus* EN EL ECUADOR

El eucalipto fue introducido en nuestro país en el siglo XIX, cuando la deforestación en el callejón interandino se acercaba a niveles críticos. El género *Eucalyptus* se adaptó a las condiciones ambientales de la sierra ecuatoriana, siendo rápidamente difundido, ganando aceptación por su rápido crecimiento. Sembrar y vender madera de eucalipto significó un negocio lucrativo en toda América Latina. Gran parte de las políticas de forestación y programas para el control de la erosión aplicadas en el Ecuador han utilizado esta especie exótica, considerándola como la más común. El origen de esta planta es australiano según Granda, (2006) citado por Juera, (2015).

B. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA ESPECIE A INVESTIGAR

Eucalyptus nitens

1. Clasificación Taxonómica

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *nitens*

Nombre científico: *Eucalyptus nitens* (Trópicos, 2019).

2. Descripción de la Especie

a. Aspectos Generales

Árbol grande que puede alcanzar los 60 m de altura, posee una corteza persistente en el tronco inferior, con colores que van de gris a marrón, de aspecto fibroso a escamoso, su

parte superior es lisa, de color blanco, gris o amarillo, se puede observar desprendimiento de largas cintas.

b. Hojas

Las hojas juveniles son opuestas, de ovadas a elípticas. Mientras que sus hojas adultas son lanceoladas y estrechas, con medidas que van desde los 15 hasta los 25 cm de largo, y de 1.5 a 2.5 cm de ancho. Son de color verde claro, de aspecto brillante.

c. Inflorescencia

Posee una inflorescencia en forma de sombrillas compuesta de 7 flores, un pedúnculo estrechamente aplanado, de 6 a 15 mm de largo, brotes sésiles, ovoides o cilíndricos, que varían desde los 5 a los 7 mm de largo, y de los 3 a los 4 mm de diámetro.

d. Fruto

Son pequeños y se agrupan en racimos, de forma cilíndrica u ovoide, de unos 4 a 7 mm de largo y de 4 a 6 mm diámetro (Royal Botanic Gardens, 2019).

e. Distribución y Hábitat

Esta especie es nativa de Australia, donde habitan formando selvas y asociaciones, alcanzando un rápido crecimiento y gran desarrollo. Su hábitat natural es generalmente seco, pero se adecuan también a diferentes variedades climatológicas.

Se ha introducido en el Ecuador, ya que nuestro país ofrece condiciones adecuadas en cuanto a características climáticas, topografía y suelos diferentes, ofreciendo condiciones semejantes a su propio hábitat geográfico, para su aclimatación.

El eucalipto se distribuye en la sierra del Ecuador desde los 1800 msnm a los 3300 msnm, generalmente su mejor desarrollo y crecimiento se encuentra en un rango altitudinal comprendido entre los 2000 a los 2900 msnm (Acosta, 1949).

C. INDUSTRIA FORESTAL

La industria forestal es la encargada de transformar el recurso forestal, con el objetivo de satisfacer la demanda de madera y productos que provienen de los árboles. Está conformada por artesanos, carpinteros, empresas de muebles, aserraderos, depósitos de madera, empresas productoras de tableros, entre otros.

Es el sector de la actividad industrial que se ocupa del procesamiento de la madera, desde su plantación hasta su transformación, pasando por la extracción, corte, almacenamiento, tratamiento químico y moldeo. El producto final de esta actividad puede ser la fabricación de mobiliario, materiales de construcción o la obtención de celulosa para la fabricación de papel, entre otros derivados de la madera (Peralta, 2009).

Las oportunidades de la industria se reflejan en el continuo crecimiento del consumo nacional e internacional de productos forestales (INIAP, 2017).

En lo que corresponde a la industria forestal maderera ecuatoriana se ha desarrollado de una manera desigual. Mientras la industria de tableros contrachapados ha alcanzado un nivel tecnológico alto, considerándola una de las mejores de Latinoamérica, la industria del aserrío ha retrocedido. Los demás segmentos industriales madereros han alcanzado varios niveles tecnológicos dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de mercado de sus productos.

El segmento industrial de tableros es considerado el segmento más grande e importante de la industria maderera del país y es el que mayormente se ha preocupado de generar su propio patrimonio forestal (bosque nativo y plantado) para asegurarse su continuación en el tiempo según Vásquez, (2000) citado por Morejon, (2018).

D. LA MADERA

Es un material natural, biológico, orgánico, poroso, higroscópico, anisotrópico y heterogéneo. Estas características le confieren determinadas propiedades de uso, resistencia y susceptibilidad a agentes bióticos o abióticos (Cruz de León, 2011).

Es producto de un proceso metabólico en un organismo vivo, que crece en la naturaleza en condiciones climáticas, geográficas y de suelos muy diversos, este es el hecho más importante a tener presente para entender su naturaleza.

La madera como material complejo, posee unas características que dependen no solo de su composición sino también de su constitución, de la manera en que estén colocados los elementos que lo forman (Umerez, 2015).

Ha sido considerado como un material con propiedades muy diferentes. Su estudio tiene gran influencia en la tecnología y en la industria, ya que está compuesto por más de un tipo de células, por lo tanto su constitución es heterogénea (Taquire, Hidalgo, & Ledesma, 2014).

Se ha comprobado mediante investigaciones efectuadas, que las propiedades de las maderas varían según las zonas geográficas y los climas. De esta manera, unas especies desarrolladas en la misma zona, pero en terrenos diferentes en cuanto a altitud, humedad o composición, presentan notables diferencias (Pérez, 1983).

El origen, las cualidades y defectos que posee la madera pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene. El conocimiento sobre su naturaleza, características y comportamiento es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material (Fritz, 2007).

La calidad de la madera, está determinada por la variabilidad de una o más de las características que afectan su estructura, y por lo tanto, sus propiedades físicas (Salvo *et al.* 2017). Conocer la variabilidad de las propiedades de interés de la madera, entre sitios y entre y dentro del árbol, es de vital importancia para obtener una mejor ventaja comercial de una plantación según Downes *et al.*, (1997) citado por Omonte, Carillo, Ananías, & Valenzuela, (2019).

1. **MADERA DE *Eucalyptus nitens***

La tonalidad general de la madera de *Eucalyptus nitens* es clara, color blanquecino. Los anillos de crecimiento son visibles, marcados y contabilizables. La distribución y forma de las fendas de secado, son particulares, posee multitud de pequeñas fendas en ojos en

sentido radial y abundancia de nudos muertos finos, que pueden continuarse hasta la médula.

En cuanto al aprovechamiento de la madera de esta especie, Poblete (2002 - 2004) señala el rápido crecimiento de *Eucalyptus nitens* $>30 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ y considera se pueden efectuar cosechas tempranas, entre 8 y 12 años. La densidad básica de la madera de *E. nitens*, aproximada a $510 \text{ kg}/\text{m}^3$, indica que esta especie tendría una posibilidad de uso en la fabricación de tableros de partículas (Poblete & Burgos, 2010).

En cuanto corresponde a la industrialización de la madera, se podría optar por dos métodos, como madera sólida estructural y como materia prima para la fabricación de tableros de partículas.

Algunos resultados de experiencias industriales en Chile con *Eucalyptus nitens* informan de la utilización de esta especie en la producción de tableros. Cuando se planifica fabricar tableros hay que considerar las propiedades de la madera que influyen sobre el proceso y estudiar algunas variables que afectan las propiedades. Entre las propiedades de la madera que tienen un efecto importante en las características del tablero se destacan la densidad y la acidez. Desde el punto de vista del proceso o del producto, se considera a la densidad una de las más importantes, esta puede variar las propiedades físicas y mecánicas, lo que permite calcular la información necesaria para obtener un producto que cumpla con las exigencias de las normas (Poblete & Burgos, 2010).

E. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA

Los elementos químicos principales de madera son carbono, hidrógeno y oxígeno, las cantidades pequeñas de nitrógeno también están presentes. El análisis químico de varias especies muestran la proporción de elementos, en porcentaje en peso de madera. El carbono, hidrógeno y la combinación de oxígeno sirven para formar los componentes orgánicos principales de sustancia de madera, celulosa, hemicelulosa, y lignina (Paz, 2008).

La composición química depende de factores diversos como: edad, especie, parte del árbol, época del año, condición del árbol y localización.

1. pH

Dentro de las propiedades químicas de la madera el valor de pH es una característica que tiene influencia en varios campos de su aprovechamiento, influye en la corrosión de metales en contacto con ella, en la fijación de determinados preservantes químicos, en la coloración de algunas maderas expuestas a la radiación solar, en la fijación de lacas, barnices y en el fraguado de colas y adhesivos como es el caso de la urea-formaldehído; ya sea en madera sólida o en forma de partículas para la producción de tableros (Rüdiger, 1975).

Según Sierra & Salgado (1994), citado por Aguila, (2009) los diferentes niveles de pH comprenden un rango de 1 a 14. Estableciéndose como ácidas cuando el pH esté en el rango de 1 a 6 y se definirá como básicas o alcalinas cuyo pH esté en el rango de 8 a 14 y el valor central se considera como pH neutro.

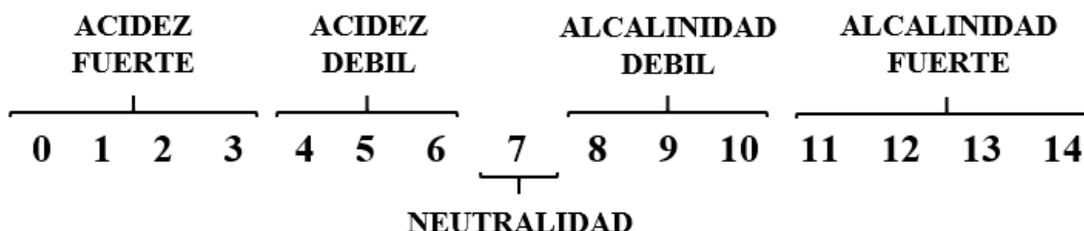


Figura 1. Esquema de la escala de pH (Aguila, 2009).

F. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Son aquellas que determinan su comportamiento ante distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química en su estructura (Umerez, 2015).

Las propiedades físicas de la madera, se consideran de mayor importancia, porque sus valores se usan como índices para evaluar e indicar si las características o calidad de sus

maderas son adecuadas para un uso particular (Montecinos, Cerrogrande, & Ponce, 2008).

1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad de la madera se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje. El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera, es seguramente el más importante de todos los que dependen de este material, dado que afecta a todos los procesos de transformación de la madera (Umerez, 2015).

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada en las paredes celulares y como agua libre en el interior de las cavidades celulares (Fritz, 2007).

En un árbol recién cortado la madera contiene una gran cantidad de agua que se localiza en los vasos, la pared celular y en otros espacios que constituyen la misma (Juela, 2015).

El contenido de humedad define las propiedades de resistencia, su poder calorífico y resistencia a agentes biológicos. La variación de humedad da lugar a cambios de volumen de la madera, lo cual influye en los procesos de secado, impregnación, aserrado y deformación de la madera (Montecinos *et al.*, 2008).

Según Silva, (2006) citado por Juela, (2015) el contenido de humedad de la madera varía de acuerdo a los cambios en las condiciones atmosféricas que la rodean, influye en el peso de la madera, a la vez que afecta a otras propiedades físicas, como el peso específico y contracción o hinchamiento, es un factor determinante en lo que corresponde a la resistencia y durabilidad.

2. Densidad

Se considera como la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen. En la madera, por ser higroscópica varía con el contenido de humedad, depende de la especie y es muy variable. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está

directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera (Fritz, 2007). Además que es uno de los criterios usados para determinar su calidad.

La densidad de la madera es uno de los factores más importantes en la fabricación de tableros de partículas. Aun cuando no existe una variable que en forma aislada permita definir a una especie como apropiada para fabricar estos tableros, la densidad de la madera es considerada como la que más afecta a las propiedades del tablero (Poblete & Burgos, 2010).

El INTA, (2012) sostiene que en los eucaliptos se alcanzan valores de densidad entre 500 a 750 kg/m³ perteneciendo al grupo de maderas semipesadas (Juela, 2015).

Campos (2006), citado por Juela, (2015) menciona que existe variación de la densidad de la madera a diferentes niveles de altura y en diámetro; además del tamaño de las fibras, espesor de la pared celular, tipo y diámetro de las células, la edad de los árboles y la interacción con el medio ambiente.

Según Reyes; Halabí *et al.* (2005) y Gorrini *et al.* (2004) citado por Flández, (2006) en su investigación, señala que la densidad de la especie *Eucalyptus nitens* depende de la zona geográfica en donde se ha desarrollado y principalmente tiene mucha influencia su edad.

Vizcarra (1998), propone que el sistema de clasificación para la densidad de la madera es simple y práctico, empleado a los datos de densidad básica, debido a su importancia en el uso y a su relación con otras propiedades (Rivera, 2014).

Tabla 1. Clasificación de la madera según su densidad básica.

GRUPO	RANGO (g/cm ³)	CLASIFICACIÓN
I	Menos de 0,30	Muy baja (MB)
II	De 0,31 a 0,40	Baja (B)
III	De 0,41 a 0,60	Media (M)
IV	De 0,61 a 0,80	Alta (A)
V	Más de 0,81	Muy alta (MA)

Fuente: Vizcarra, (1998) citado por Rivera, (2014).

3. Peso Específico

La propiedad de peso específico se define como la relación de peso a volumen, influye en la madera de manera directa para su utilización e interpretación.

El peso específico de la madera viene representado por el mismo número que su densidad, por lo que corrientemente se conoce en la industria con tal nombre, exclusivamente para el caso de este material (AITIM, 1976).

Se consideran diferentes clases de pesos específicos, al tomar en cuenta que la madera es un cuerpo poroso, entre ellos: peso específico aparente, peso específico real y los pesos específicos comerciales, que comúnmente se los conoce con el nombre de densidad y son los más utilizados en cuanto al contexto de madera, sus valores se utilizan para cálculos y operaciones comerciales.

Los pesos específicos sirven de puntos de comparación y referencia desde el punto de vista científico principalmente, tienen una razón industrial y encuentra su principal aplicación en la industria de la celulosa, tableros de fibras y tableros de partículas.

La madera industrial suele compararse por volumen verde y la humedad en este estado es generalmente superior al treinta por ciento, considerándola como saturada, es por esto la importancia de los pesos específicos ya que nos permitirán determinar la materia prima que será objeto de transformación.

Las unidades en las que podemos expresar el peso específico o conocido también como densidad son en gramos/centímetro cúbico: para trabajos científicos y en kilogramo/metro cúbico: para estudios industriales (AITIM, 1976).

El peso específico de la madera se utiliza en la industria y varía dentro de un árbol, entre los árboles, y entre las especies.

Sirve también como un indicador de la cantidad de pulpa de madera que se podría producir y la trabajabilidad del material. Se relaciona con diferentes características de resistencia de los productos de madera (por ejemplo, la compresión perpendicular a la fibra, resistencia al corte, entre otros) (ASTM, 2017).

G. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas, es decir cualquier sollicitación que actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la pueda deformar.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida (Fritz, 2007).

Las propiedades mecánicas de las maderas miden la capacidad para resistir fuerzas externas, se utilizan para poder obtener datos sobre la carga requerida y su comportamiento elástico, permitiendo conocer el nivel de resistencia, elasticidad y rigidez de la madera (Montecinos *et al.*, 2008).

Constituyen un indicador de los usos particulares que se le puede dar a una madera específica, por tanto es esencial antes de destinar esta materia prima a un uso específico conocer estas propiedades, para evitar así problemas por su utilización o por exceder la capacidad de la misma (Sánchez & Roa, 2015).

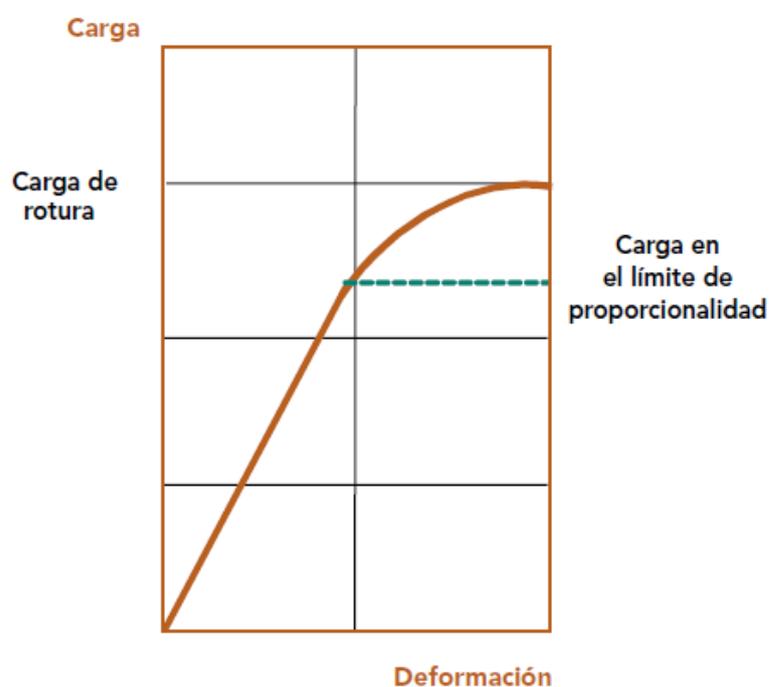


Figura 2. Gráfica carga – deformación (Fritz, 2007).

Entre las diferentes solicitaciones a las cuales puede estar sometida la madera encontramos: flexión estática, compresión, tracción, dureza, cizalle, trabajabilidad (Morejon, 2018).

1. Flexión Estática

Es la resistencia de la madera a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad (Fritz, 2007).

El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie se conoce como tensión unitaria. A medida que la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se va incrementando, esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado, mientras se aumenta la carga se provoca la rotura del material (Fritz, 2007).

Se conoce como límite elástico al esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación aumenta en mayor proporción que la carga que se aplica.

El esfuerzo necesario de un material hasta el límite elástico determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que se trata de la carga máxima a que se puede someter sin que este sufra deformaciones permanentes (Fritz, 2007).

La propiedad que tiene para resistir la deformación por fuerzas externas se conoce como rigidez o módulo de elasticidad, mientras que cuando la carga resulta mayor al límite elástico y la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar se obtiene la tensión de rotura de la pieza de madera (Fritz, 2007).

Entre los tipos de fallos que podemos encontrar cuando se realiza las pruebas de flexión estática en la madera tenemos: (a) tensión simple, (b) tensión en fibra cruzada, (c) tensión astillada, (d) tensión en falla abrupta, (e) compresión, (f) cizalla o corte horizontal (ASTM, 2014).

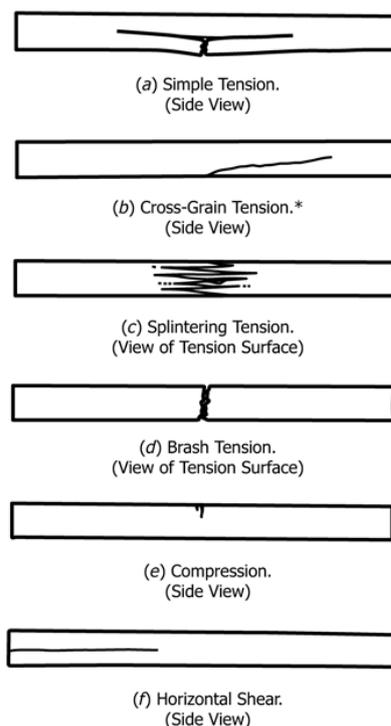


Figura 3. Tipos de fallo en flexión estática.

Según las normas ASTM se pueden clasificar las propiedades mecánicas por medio de valores comparativos. Como es el caso de la flexión estática, observados en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las propiedades mecánicas evaluadas, según ASTM.

CLASIFICACIÓN	Muy Bajo	Bajo	Mediano	Alto	Muy Alto
Flexión (kg/cm²). Esfuerzo L.P.	250	252 – 500	501 – 705	751 – 1000	1001
Flexión (kg/cm²). Módulo de rotura.	400	401 – 900	901 – 1350	1351 – 1800	1801
Flexión (1000 kg/cm²). Módulo de elasticidad.	70	71 - 100	101 - 150	151 - 200	201

Fuente: Lastra, (1986) citado por Triana *et al.*, (2008).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR

1. Características generales

Aglomerados Cotopaxi S.A. cuenta con una superficie aproximada de 18.000 hectáreas en diferentes localidades dentro de la provincia de Cotopaxi, en las cuales en su mayoría tiene plantaciones comerciales de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, entre otras, con diferentes edades que van desde un día de plantados hasta la época de turno que es 20 años. El manejo silvicultural consta de rastrado, control de malezas, plagas, etc. Las vías de acceso con las que cuenta son de primer, segundo y tercer orden lo que facilita el ingreso a las diferentes plantaciones (Vargas, 2012).

2. Localización

Las muestras para la presente investigación se las recolectó en plantaciones propiedad de la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Se seleccionaron diferentes zonas, 6 subrodal de la especie a estudiar (*Eucalyptus nitens*), considerando diferentes características como el año de plantación, rango altitudinal y su ubicación geográfica.

Tabla 3. Área de Estudio.

N	SUBRODAL	AÑO PLANTACIÓN	HECTÁREAS	PREDIO
1	0107 E2	2012	1,13	Santa Ana
2	0102 G2	2010	0,22	Santa Ana
3	0402 E2	2010	0,46	Colcas
4	0404 E1	2015	1,05	Colcas
5	0502 E2	2010	0,47	Ilitio Alto
6	0424 E2	2014	20,18	Colcas

Elaborado por: Freire, (2019).

La investigación se realizó en: el laboratorio de Investigación y Desarrollo (COTOPAXI LAB) y en el laboratorio de Control de Calidad localizados dentro de la planta industrial ubicada en el sector Lasso, entrada a Tanicuchi; de igual manera en las instalaciones del vivero San Joaquín pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., situados en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

3. Ubicación Geográfica, Características Climáticas y Edafológicas

Ubicación geográfica del área de estudio

Latitud: 0° 40' 11,71" S

Longitud: 78° 33' 28,50" O

Precipitación

Promedio anual: 736,7 mm

Humedad Relativa: 84 – 88% (Aglomerados Cotopaxi S.A. 2019).

a. Subrodiales

1) Santa Ana 0107 E2

Tabla 4. Ubicación geográfica subrodal 0107 E2.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	768809	9923444	3175
2	768817	9923325	3170
3	768642	9923215	3165

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 11,5°C

Suelos: origen volcánico derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arcillosa-arenosa y pH ácido de 6,15 (Vargas, 2012).

2) Santa Ana 0102 G2

Tabla 5. Ubicación geográfica subrodal 0102 G2.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	768157	9923249	3165
2	768098	9923257	3165
3	768095	9923220	3165
4	768153	9923211	3165

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 11,5°C

Suelos: origen volcánico derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arcillosa-arenosa, y pH ácido de 6,15 (Vargas, 2012).

3) Colcas 0402 E2

Tabla 6. Ubicación geográfica subrodal 0402 E2.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	770908	9919763	3190
2	770930	9919729	3190
3	770857	9919662	3190
4	770833	9919694	3190

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 9,7 °C

Suelos: origen volcánico derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arenosa y pH ligeramente ácido de 6,37 (Vargas, 2012).

4) Colcas 0404 E1

Tabla 7. Ubicación geográfica subrodal 0404 E1.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	773468	9921454	3275
2	773510	9921402	3275
3	773392	9921307	3275
4	773344	9921356	3275

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 9,7 °C

Suelos: origen volcánico derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arenosa-arcillosa y pH ligeramente ácido de 6,37 (Vargas, 2012).

El subrodal 0404 E1 corresponde a un ensayo de fertilización, en el cual se utilizaron varias dosis y tipos de fertilizantes (multicote, basacote) en su establecimiento.

5) Ilitio Alto 0502 E2

Tabla 8. Ubicación geográfica subrodal 0502 E2.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	776034	9922444	3405
2	776027	9922420	3405
3	776200	9922416	3405
4	776206	9922438	3405

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 9 °C

Suelos: origen volcánico derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arenosa y pH ligeramente ácido de 6,37 (Vargas, 2012).

6) Colcas 0424 E2

Tabla 9. Ubicación geográfica subrodal 0424 E2.

	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	(msnm)
1	774866	9923039	3380
2	774885	9922702	3375
3	774252	9922538	3360
4	774198	9922790	3355

Elaborado por: Freire, (2019).

Temperatura media anual: 9 °C

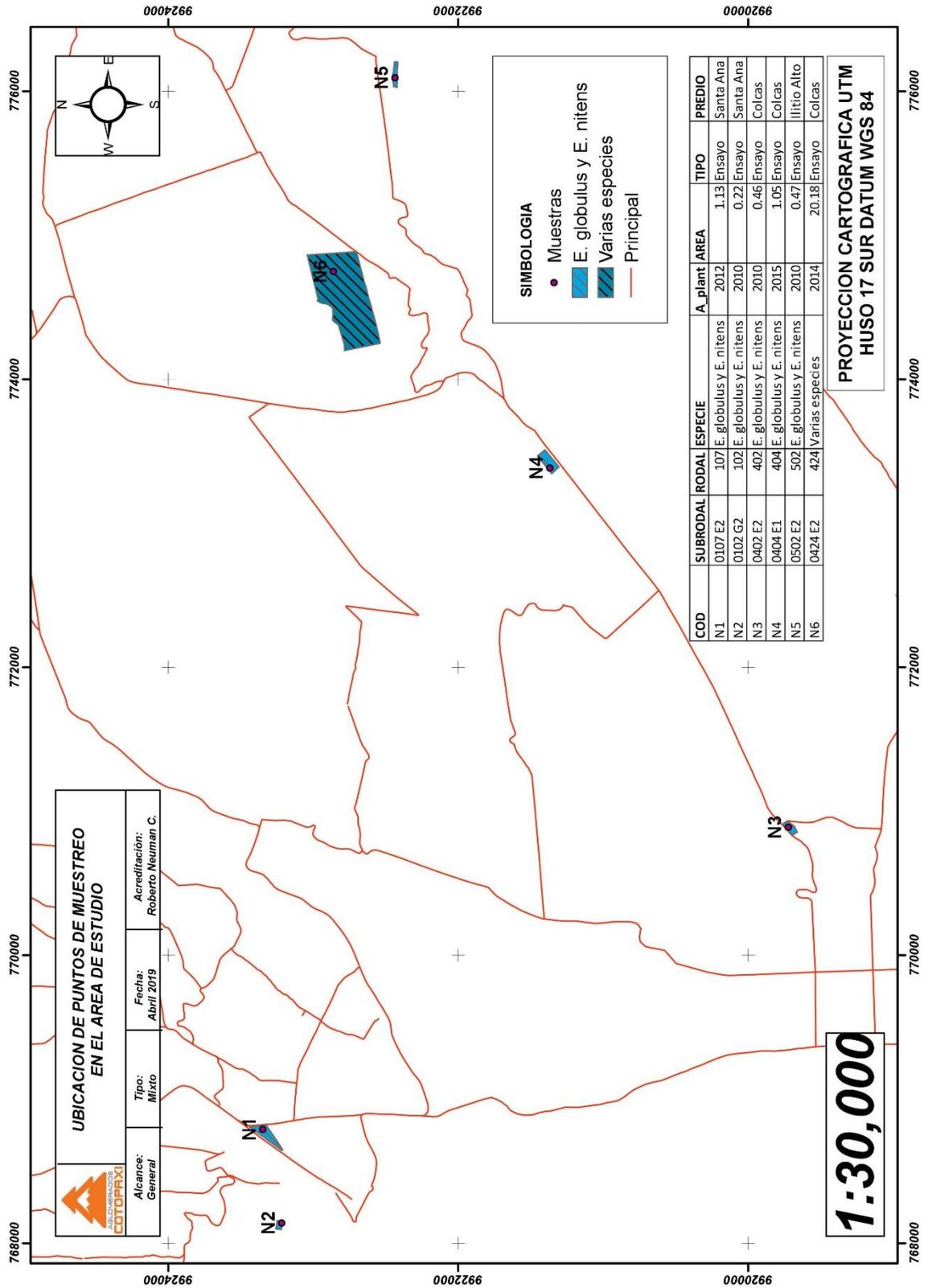
Suelos: origen volcánico, derivado de ceniza volcánica con cantidades significativas de grava y pumina, de textura arcillo-arenosa y pH ligeramente ácido de 6,37 (Vargas, 2012).

El subrodal 0424 E2 corresponde a un ensayo de espaciamiento y fertilización, en el cual se utilizaron dosis de fertilizante (basacote 16-25-0) en su establecimiento.

4. Clasificación ecológica

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013), el área de estudio pertenece a la clasificación ecológica:

- Bosque siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes: BsAn03.
- Bosque siempreverde del Páramo: BsSn01.



Mapa 1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo en el área de estudio.

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Materiales de Campo

Libreta de apuntes, lápiz, marcadores, cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula, clinómetro (SUUNTO), motosierra (STIHL), machete, plástico para embalaje, pintura aerosol, GPS (Garmin), cámara fotográfica (iPhone X), vehículo para movilización.

2. Materiales y Equipo de Oficina

Computadora (Hewlett-Packard), calculadora (CASIO), hojas de registro, mapas de zonas de plantación.

3. Materiales y Equipo de Laboratorio

Sierra circular, ingletadora, molino casero, balanza digital de precisión 0.01g (IMAL), estufa (Memmert), máquina de ensayos universales (IMAL IB600), pH metro (Mettler Toledo), agitador magnético de 1500 rpm (MTOPS MS300HS), agua destilada, vasos de precipitación, probetas, bolsas de polietileno, bandejas de aluminio, papel aluminio.

C. METODOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens*

1. Selección de los árboles para el Estudio

La selección de los árboles para el estudio, se basó en la norma COPANT 458 “Selección y Colección de Muestras” (Salvador, 2010), que establece los estudios tecnológicos a realizarse para obtener un valor promedio de las propiedades químicas, físicas y mecánicas, tomándose muestras diferentes por población tanto para especies

conocidas o no conocidas. En este caso se lo realizó dentro de subbrodales específicos, establecidos como ensayos en donde la especie predominante es *Eucalyptus nitens*.

Se procedió a la elaboración de los mapas de ubicación de los subbrodales pertenecientes al estudio, en donde se tomarán los árboles para realizar el muestreo por medio del programa ArcGis 9,3.

Los árboles seleccionados fueron ubicados, marcados y georreferenciados usando GPS, para facilitar su ubicación. Cumpliendo con las siguientes especificaciones: árboles sanos, troncos rectos (lo más cilíndricos posible), y ser representativos de la población en diámetro. El talado o tumbado se lo realizó con motosierra, empleando las técnicas conocidas (Salvador, 2010).

Tabla 10. Identificación de árboles para el estudio.

N° ÁRB	TIPO DE ÁRBOL		H TOTAL	DAP	COORDENADAS		ALTURA (msnm)	EDAD (años)
	CÓD	DOM	(m)	(cm)	X	Y		
1	N1	X	21	19,2	768791	9923349	3172	7
2	N2	X	20	18	768141	9923217	3148	9
3	N3	X	18,21	18,3	770890	9919723	3190	9
4	N4	X	13,2	17	773386	9921368	3275	4
5	N5	X	19,75	22,1	776096	9922436	3394	9
6	N6	X	11,75	20,4	774751	9922860	3385	5

Elaborado por: Freire, (2019).

2. Preparación de las trozas

Una vez apeado cada uno de los árboles, se procedió al desrame (eliminación de todas las ramas) a lo largo del fuste, desde la base hasta el ápice, dependiendo del grosor de las ramas se procedió a utilizar la motosierra y un machete, de tal modo que quedó limpio para su trozado y transporte.

El trozado del árbol para la realización de los ensayos de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera, se lo realizó basándose en la norma ISO 4471 – 1982 “Wood - Sampling sample trees and logs for determination of physical and mechanical properties of wood in homogeneous stands” (Salvador, 2010). Considerando las diferentes características de cada árbol a estudiar, especialmente las medidas de altura y diámetro, lo que permitió la toma de muestras por niveles longitudinales, lográndose de esta manera abarcar el material completo del árbol a estudiar.

Se midió la longitud total de cada árbol en el suelo, se procedió a dividir en tres secciones, como muestra la norma ISO 4471 – 1982 (figura 4). De cada sección se realizó trozas de 1.50 cm, utilizándose en total tres por árbol y se realizaron las rodela correspondientes.

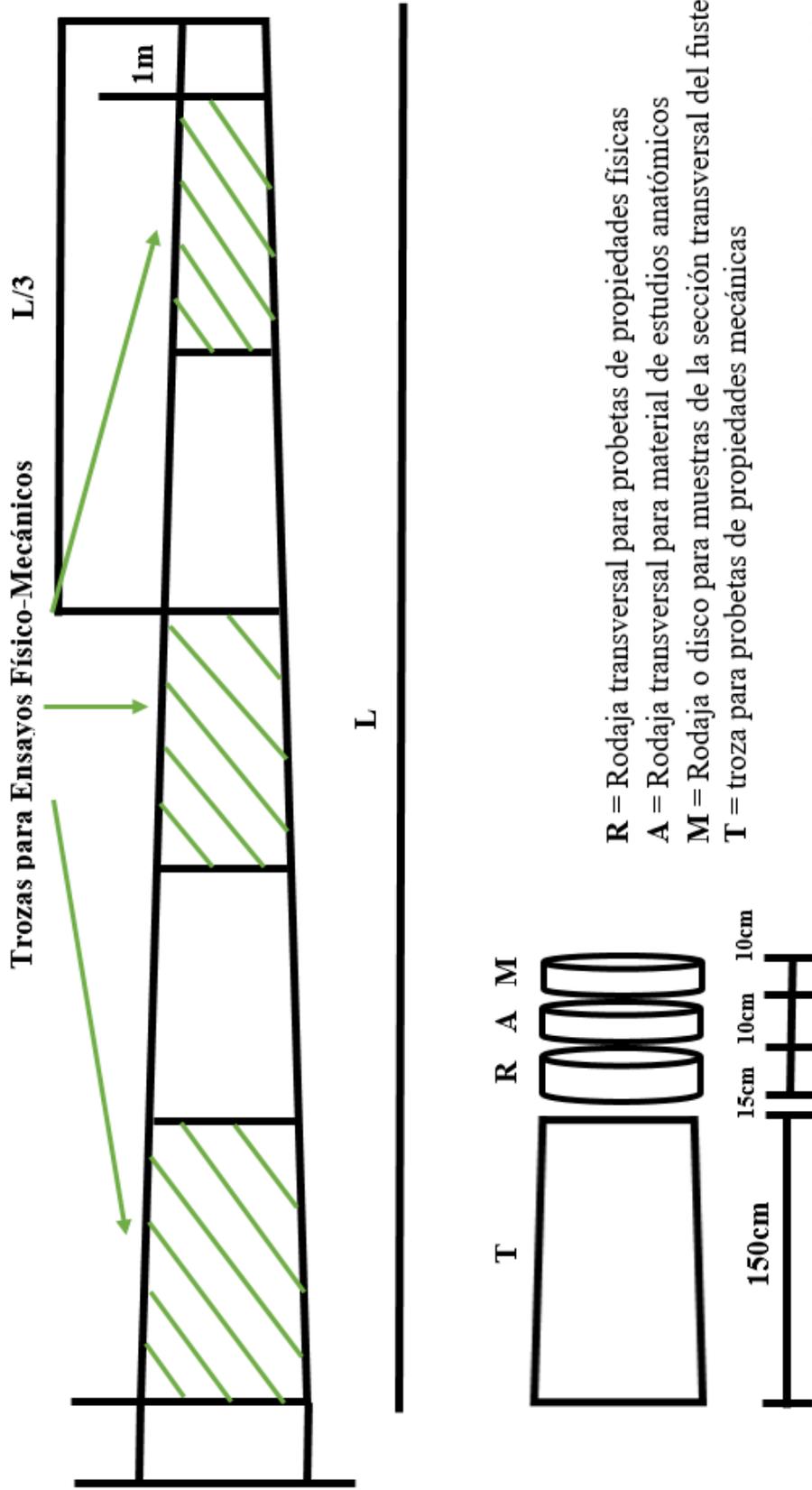
Las trozas y rodela obtenidas fueron marcadas, para su fácil identificación, recomendándose utilizar un sistema adecuado (Salvador, 2010).

La codificación de las trozas consistió en marcar cada una (total 3), asignando un código para cada árbol:

- Árbol 1 (N1a, N1b, N1c),
- Árbol 2 (N2a, N2b, N2c),
- Árbol 3 (N3a, N3b, N3c),
- Árbol 4 (N4a, N4b, N4c),
- Árbol 5 (N5a, N5b, N5c),
- Árbol 6 (N6a, N6b, N6c), como se puede apreciar en el Anexo 7.

Una vez obtenido el material se procedió a protegerlo contra hongos, grietas y teniendo otras precauciones, basándonos en la norma COPANT 459 “Acondicionamiento de Maderas destinadas a los ensayos Físicos y Mecánicos” (Salvador, 2010).

Figura 4. Esquema de trozado del fuste (Norma ISO 4471 -1982).



(Salvador, 2010)

3. Preparación de probetas y material para estudio

Para la realización de las probetas y el material para las diferentes pruebas químicas, físicas y los ensayos mecánicos se utilizaron diferentes normas, estableciéndose varias medidas, características, cantidad y número. Las probetas se las realizó en el laboratorio de Investigación y Desarrollo (COTOPAXI LAB), el mismo que se encuentra ubicado en las instalaciones de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., se procedió a retirar la corteza y escuadrar cada una de las trozas, por medio de una motosierra, sierra circular e ingletadora hasta lograr las medidas adecuadas.

Para los ensayos de las propiedades tanto físicas como mecánicas de la madera se consideraron probetas de pequeñas dimensiones, libre de defectos siguiendo especificaciones de la norma UNE – EN 384, la cual plantea que el material muestreado debe ser representativo (Salvador, 2010).

Las muestras y material para el estudio se identificaron y codificaron, dependiendo de cada árbol para la realización de cada una de las pruebas (tabla 11).

Tabla 11. Codificación de material de los árboles del estudio (árbol 1).

ÁRBOL 1		<i>Eucalyptus nitens</i>
CÓDIGO		N1
PROPIEDADES QUÍMICAS		
<u>pH Madera</u>		<u>pH Corteza</u>
Estado Verde	Estado Anhidro	Estado Anhidro
N1V	N1A	N1A
PROPIEDADES FÍSICAS		
<u>Densidad, Humedad y Peso Específico</u>		
Parte Inferior Fuste	Parte Media Fuste	Parte Superior Fuste
N1a1	N1b4	N1c7
N1a2	N1b5	N1c8
N1a3	N1b6	N1c9
PROPIEDADES MECÁNICAS		
<u>Flexión Estática</u>		
N1a		
N1b		
N1c		

Elaborado por: Freire, (2019).

a. Propiedades químicas

Para determinar el valor de pH en madera y corteza, las muestras se obtuvieron basándose en el método de Sandermann y Rothkamm (1959) (Bernabé, Ávila, & Rutiaga, 2013); y en el método de Poblete y Roffael utilizado en el año 2000 y 2004, respectivamente.

- pH de la Madera: se tomó una muestra general por cada árbol a estudiar, recolectando aserrín de distintas secciones del fuste (inferior, medio y superior).
- pH de la Corteza: se tomó una muestra general por cada árbol a estudiar, recolectando corteza de distintas secciones del fuste (inferior, medio y superior).

Se obtuvo material de cada uno de los 6 árboles, tanto aserrín de madera como corteza.

b. Propiedades físicas

Para la elaboración de las probetas para las pruebas físicas nos basamos en la norma ASTM D2395 – 17 “Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials” (ASTM, 2017) para determinar el contenido de humedad y densidad, así como el peso específico se determinó bajo parámetros establecidos en el cálculo de magnitudes de la AITIM (AITIM, 1976).

El tamaño de las muestras o probetas, fueron plenamente representativas del material que se tomó, obteniéndose medidas precisas, para la determinación de masa y volumen, fácil de alcanzar.

- Probetas para determinar Contenido de Humedad: 5 cm x 5 cm x 3 cm
- Probetas para determinar Densidad: 5 cm x 5 cm x 3 cm
- Probetas para determinar el Peso Específico: 5 cm x 5 cm x 3 cm

El número de probetas para las pruebas físicas fueron nueve (tres por cada sección del fuste), las cuales se utilizaron tanto para determinar una curva de secado al horno, para el cálculo de contenido de humedad, la densidad y el peso específico. Adicional se utilizaron de igual manera nueve más para determinar curvas de secado al aire libre en diferentes condiciones.

c. Propiedades mecánicas

Para la elaboración de las probetas, se basó en la norma ASTM D143 – 14 “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber” (ASTM, 2014) la cual establece las dimensiones específicas para ensayos mecánicos.

- Probetas para ensayo de Flexión Estática: 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm.

El número de probetas para las pruebas mecánicas de flexión estática fueron tres por cada uno de los seis árboles del estudio.

4. **Determinación de las propiedades Químicas de la Madera**

a. Determinación de pH

Para determinar las propiedades químicas como es el pH tanto de madera como de corteza, se realizaron pruebas en estado verde y anhidro; de acuerdo a la metodología empleada por Sandermann y Rothkamm, (1959) (Bernabé et al., 2013) y en el método de Poblete y Roffael (2000 - 2004) respectivamente.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Control de Calidad dentro de las instalaciones de la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.

Se obtuvo una muestra general por cada árbol a estudiar, recolectando aserrín de madera y partes de corteza de distintas secciones del fuste (inferior, medio y superior). Se procedió a separar el aserrín de madera en dos partes iguales, para determinar el pH en estado de verde y en estado anhidro, colocándose en fundas de polietileno selladas para su posterior utilización. De igual manera, se determinó el pH de la corteza en estado anhidro.

- Determinación de pH: madera estado verde

La determinación del pH de madera en estado verde se basó en el método de Sandermann y Rothkamm (1959) (Bernabé et al., 2013), se midieron 5 g de aserrín de madera en la balanza digital y se colocaron en un vaso de precipitación con 50 ml de agua destilada, se registró la lectura inicial del pH con un potenciómetro y se volvió a

tomar a los 5 minutos, a las 4 horas y a las 24 horas de comenzada la medición. Determinándose un valor de pH promedio. Se realizó este procedimiento con los 6 árboles del estudio.

- **Determinación de pH: madera estado anhidro**

Para la determinación del pH de madera en estado anhidro, se tomó aserrín de madera colocándolo en bandejas de aluminio y se procedió a introducirlo en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C por 4 horas, hasta que se encuentre completamente seco.

Para saber cuál fue el tiempo necesario del aserrín en la estufa se realizó una curva de secado, dejándolo el tiempo necesario hasta alcanzar su peso constante.

Basándonos en el método de Sandermann y Rothkamm (1959) (Bernabé et al., 2013), se midieron 5 g de aserrín de madera en estado anhidro y se colocó en un vaso de precipitación con 50 ml de agua destilada, se registró la lectura inicial del pH con un potenciómetro y se volvió a tomar a los 5 minutos, a las 4 horas y a las 24 horas de comenzada la medición. Dando como resultado un valor promedio del valor de pH. El procedimiento fue el mismo aplicado en los 6 árboles de estudio.

- **Determinación de pH: corteza estado anhidro**

Se preparó la corteza obtenida de la parte inferior, media y superior tomándose una muestra general de cada uno de los 6 árboles, se colocó la corteza en bandejas de aluminio y se introdujo en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C, por aproximadamente 24 horas, hasta que se encuentre bien seca y alcanzando su peso constante.

Después de transcurrido este tiempo, se procedió a retirarla de la estufa y colocarla en bolsas de polietileno para su posterior utilización, la cual consistió en el triturado para la obtención de aserrín; esto se logró por medio de un molino casero, hasta tener partículas finas que fueron utilizadas en la medición.

La determinación del valor de pH se efectuó en extractos en agua destilada. Basándonos en los métodos impuestos por Poblete y Roffael (Poblete & Roffael, 2004), (Poblete &

Burgos, 2010). Se midió 10 g de aserrín de corteza y se mezcló con 150 ml de agua destilada en un vaso de precipitación. Se procedió a realizar una agitación mecánica por medio de un agitador magnético a 250 rpm. Se tomó su lectura por medio del potenciómetro en los extractos a las 4 y 24 horas. Finalmente se determinó el pH obteniendo un valor promedio de las dos mediciones. Procedimiento que se lo realizó en cada uno de los 6 árboles estudiados.

5. Determinación de las propiedades Físicas de la Madera

Se determinaron las propiedades físicas: contenido de humedad, densidad y el peso específico. Se determinó la densidad en estado verde, seca al horno o estufa y la densidad básica; el peso específico se calculó en condición húmeda y en condición seca, así como peso específico básico. Se estableció una curva para determinar el tiempo de secado de la madera al horno. De igual manera se establecieron curvas de secado al aire libre en diferentes condiciones.

Los ensayos de las propiedades físicas se determinaron en base a la norma ASTM D2395 – 17 “Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials” (ASTM, 2017), la cual se encuentra establecida en los procesos de pruebas y utilizada en el laboratorio de Control de Calidad dentro de las instalaciones de la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., así como el peso específico se determinó bajo parámetros establecidos en el cálculo de magnitudes de la AITIM “Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera” (AITIM, 1976). Se elaboraron un total de dieciocho probetas de dimensiones 5 x 5 x 3 cm por cada uno de los seis árboles.

a. Determinación del Contenido de Humedad

Nueve probetas se utilizaron para calcular el contenido de humedad. Las probetas generadas se midieron y calibraron mediante la utilización de una máquina de ensayos universales marca IMAL IB600 y se pesaron en una balanza digital con precisión de 0.01g primeramente en estado verde.

Luego se procedió a deshidratarlas por medio de una estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta alcanzar su peso constante. Finalmente se retiraron, se calibraron y pesaron nuevamente para obtener los resultados, esta vez secas al horno.

El contenido de humedad se determinó de acuerdo a los datos obtenidos al pesar las muestras en estado verde y seco al horno o estufa. Para lo cual se utilizó la siguiente fórmula, establecida en las normas ASTM:

$$M_H = \left(\frac{m_M - m_o}{m_o} \right) \times 100$$

(ASTM, 2017).

Donde:

M_H : Contenido de humedad de la muestra al momento de la prueba, %.

m_M : Masa inicial (gr), y

m_o : Masa seca al horno (gr).

b. Determinación de la Densidad

Para el cálculo de densidad de la madera de *Eucalyptus nitens* de cada uno de los seis árboles del estudio se utilizaron las probetas del ensayo de contenido de humedad de dimensiones 5 x 5 x 3 cm, según especificaciones de la norma ASTM D2395 – 17 (ASTM, 2017), obteniendo datos de los siguientes parámetros:

- Densidad en verde
 - Densidad seca al horno
 - Densidad básica
- Densidad en verde

Para determinar la densidad de la madera en estado verde se procedió a medir las probetas y calibrarlas, mediante la utilización de la máquina de ensayos universales IMAL IB600, tomando de esta manera los datos de volumen.

Después se pesaron en la balanza digital con precisión de 0.01g y se anotó cada uno de pesos de las probetas.

Utilizando los datos obtenidos se calculó la densidad en verde por medio de la siguiente fórmula:

$$\rho_M = \frac{m_M}{V_M}$$

(ASTM, 2017).

Donde:

ρ_M : Densidad verde (al contenido de humedad inicial), (kg/m³)

m_M : Masa verde (inicial), (kg)

V_M : Volumen verde (inicial), (m³)

- Densidad seca al horno

Para determinar la densidad de la madera seca al horno, se midieron las probetas en condición seca y se calibraron, mediante la utilización de la máquina de ensayos universales IMAL IB600, tomando de esta manera los datos de volumen.

Después se pesaron en la balanza digital con precisión de 0.01g y se anotaron cada uno de pesos de las probetas.

Se calculó la densidad seca al horno, por medio de la siguiente fórmula:

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o}$$

(ASTM, 2017).

Donde:

ρ_o : Densidad seca al horno, (kg/m³)

m_o : Masa seca al horno, (kg)

V_o : Volumen seco al horno, (m³)

- Densidad básica

Para el cálculo de la densidad básica se tomaron los datos de peso de las probetas en condición seca al horno y el volumen en condición verde, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D2395 – 17 (ASTM, 2017), y se la determinó en base de la siguiente fórmula:

$$\rho_b = \frac{m_o}{V_{max}}$$

(ASTM, 2017).

Donde:

ρ_b : Densidad básica, (kg/m³)

m_o : Masa seca al horno, (kg)

V_{max} : Volumen verde, (m³)

c. Determinación del Peso Específico

Para la determinación del peso específico se utilizaron las probetas antes ensayadas de dimensiones de 5 x 5 x 3 cm, de igual manera basándose en la norma ASTM D2395 – 17 (ASTM, 2017), así como en el cálculo de la medida de magnitudes establecida por la “Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera” (AITIM, 1976), en donde se establece que el peso específico es igual a la relación entre la masa y el volumen.

Bajo estos términos se obtienen los siguientes parámetros:

- Peso específico húmedo
- Peso específico seco al horno
- Peso específico básico

- Peso Específico húmedo

Para determinar el peso específico de la madera en estado húmedo o verde (AITIM, 1976), se procedió a pesar las probetas en la balanza digital, anotando cada uno de sus pesos, se las midió y calibro, mediante el uso de la máquina de ensayos universales IMAL IB600, tomando de esta manera los valores de volumen.

Utilizando los datos obtenidos se calculó el peso específico húmedo por medio de la siguiente fórmula:

$$P_h = \frac{p_h}{V_h}$$

(AITIM, 1976).

Donde:

P_h : Peso específico húmedo (estado verde), (gr/cm³)

p_h : Masa húmeda (estado verde), (gr)

V_h : Volumen húmedo (estado verde), (cm³)

- Peso Específico seco al horno

Para determinar el peso específico de la madera seca al horno (AITIM, 1976) se procedió de igual manera a medir las probetas que estuvieron secas en la estufa y calibrarlas, por medio de la máquina de ensayos universales, tomando de esta manera los datos de volumen, se pesaron en la balanza digital con precisión de 0.01g y se anotaron cada uno de pesos de las probetas.

Se calculó el peso específico seco al horno, mediante la siguiente fórmula:

$$P_0 = \frac{p_0}{V_0}$$

(AITIM, 1976).

Donde:

P_0 : Peso específico seco, (gr/cm³)

p_0 : Masa seca al horno, (gr)

V_0 : Volumen seco al horno, (cm³)

- Peso Específico básico

Para el cálculo del peso específico básico de igual manera se tomó los datos de peso en condición seca al horno y el volumen en condición verde, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D2395 – 17 (ASTM, 2017) que señala que estos valores se utilizan a menudo en los estudios para caracterizar a las especies.

Su resultado se lo determinó en base de la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{p_0}{V_h}$$

(ASTM, 2017).

Donde:

P_b : Peso específico básico, (gr/cm³)

p_0 : Masa seca al horno, (gr)

V_h : Volumen húmedo, (cm³)

- Curvas de Secado

Se determinaron las curvas de secado: al horno o estufa y al aire libre en dos condiciones.

Para la determinación de la curva de secado al horno se utilizaron las nueve probetas antes descritas, tomando datos de peso tanto en su condición inicial en verde hasta su condición final secas al horno (103 ± 2 °C), y registrando el intervalo de tiempo que se demora hasta alcanzar su peso constante.

Para el establecimiento de las curvas de secado al aire libre en las dos diferentes condiciones las probetas fueron codificadas para su identificación, se las pesó en la balanza digital, se registró los primeros datos en estado verde; del total de las nueve probetas adicionales: seis se las dejó con una temperatura ambiental promedio de 14,5°C, bajo condiciones de laboratorio, en un espacio cerrado, y las tres sobrantes con una temperatura del 11,5°C, en un espacio abierto con corrientes de aire circulantes bajo cubierta.

Se fueron tomando y registrando los datos correspondientes al peso, durante un intervalo de varios días, hasta llegar al peso constante, de esta manera se pudo construir las curvas por cada árbol del presente estudio.

6. Determinación de las propiedades Mecánicas de la Madera

Para la realización de las pruebas mecánicas, se siguió la metodología recomendada por las norma ASTM D143-14 “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber” (ASTM, 2014), las cuales establecen cada uno de los parámetros necesarios.

Los ensayos se realizaron dentro de las instalaciones del laboratorio de Control de Calidad de la Empresa, por medio de la máquina de ensayos universales IMAL IB600, utilizada para detectar la calidad y características mecánicas de la madera, en conformidad con las normas en vigor actualmente, esta máquina conjuga funciones de pruebas de laboratorio de las características mecánicas. Permitiendo apreciar diferentes cargas (kg), velocidades (mm/min) y distancias (mm) por cada una de las pruebas que realiza.

a. Flexión Estática

Para la determinación de la flexión estática en madera de *Eucalyptus nitens*, se realizaron ensayos mecánicos basándose en la norma ASTM D143-14 (ASTM, 2014).

Se obtuvieron las probetas de dimensiones 2,5 x 2,5 x 41 cm, tres por cada árbol del estudio, las cuales fueron secadas en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C por un tiempo determinado perdiendo humedad hasta que llegaron a su peso constante antes de realizar las pruebas, según las especificaciones del control de humedad de las probetas en la norma.

Para esta prueba se ubicaron las probetas en la máquina de ensayos universales IMAL IB600. Se midió el largo exacto de la probeta, se marcó en la mitad y se colocó en la cama de flexión, la misma que está conformada en sus extremos por dos rodillos, con la probeta ya señalada se situó en la mitad de la luz, conforme a las especificaciones de la norma, que establecen una longitud de tramo de 14 pulg. (360mm), para que la carga sea aplicada en el centro de forma continua, lenta y gradual hasta que se produzca la fisura o rompimiento de la probeta.

Los datos obtenidos en los ensayos en cada una de las probetas se almacenaron en la base de datos de la máquina de ensayos universales, procediendo al cálculo de la flexión estática, de igual manera obteniendo datos del módulo de elasticidad establecida en los parámetros. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$TLP = 1,5 \times \frac{P L}{b h^2}$$

Donde:

TLP: flexión estática (tensión en el límite de proporcionalidad), (kg/cm²)

P: carga máxima aplicada en el límite elástico, (kgf)

L: distancia entre apoyos o luz de la probeta, (cm)

b: ancho de la probeta, (cm)

h: altura de la probeta, (cm)

7. Análisis de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens*

Para el análisis de los resultados se determinaron los parámetros principales de estadística descriptiva en cada una de las propiedades estudiadas (valores máximo y mínimo, media y desviación estándar) (Téllez, Herrera, & Rutiaga, 2009).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens*

1. Determinación de pH

Tabla 12. pH de la madera en estado verde y anhidro.

VALORES DE pH MADERA EN ESTADO VERDE Y ANHIDRO (promedio de cuatro mediciones: inicial, después de 5 min, 4 y 24 horas).		
ÁRBOL	CONDICIÓN VERDE	CONDICIÓN ANHIDRA
N1	5,53	5,09
N2	<u>4,45</u>	4,57
N3	4,56	<u>4,47</u>
N4	5,20	4,79
N5	4,53	4,65
N6	<u>6,45</u>	<u>5,39</u>

Elaborado por: Freire, (2019).

a. Madera estado verde

Se determinaron los valores de pH de madera en condición verde de cada uno de los seis árboles del estudio, dando como resultado un pH considerado ácido.

Obteniéndose como valor mínimo de pH igual a 4,45 correspondiente al árbol N2, localizado en el subrodal 0102 G2 (Santa Ana), considerándose como una acidez débil según la escala de pH descrita por (Aguila, 2009) y como valor máximo pH igual a 6,45 perteneciente a el árbol N6 ubicado en el subrodal 0424 E2 (Colcas), ubicándolo en el mismo rango. Este último difiere un poco con respecto a los demás considerando que se encuentra dentro de un ensayo de espaciamiento y fertilización, diferenciándose de los otros cinco árboles del estudio que se encuentran en condiciones normales establecidos en suelos de origen volcánico de texturas arenosas y arcillosas, con valores de pH ácidos, características mencionadas anteriormente.

b. Madera estado anhidro.

Después de establecida la curva de secado (anexo 10) para la obtención del aserrín de madera en estado anhidro, se determinaron los valores de pH, ubicándolos dentro de la escala de acidez débil descrita por Aguila, (2009). Determinándose un pH ácido en cuanto corresponde a la especie *Eucalyptus nitens*.

El valor mínimo obtenido de pH en estado anhidro fue de 4,47 perteneciente al árbol N3 localizado en el subrodal 0402 E2 (Colcas) y el valor máximo de 5,39 correspondiente al árbol N6 ubicado en el subrodal 0424 E2 (Colcas). De igual manera este último dato difiriendo del resto por su ubicación en un ensayo de espaciamiento y fertilización.

Con los resultados obtenidos en la tabla 12, podemos observar que los datos de la madera tanto verde como anhidra no difieren. En ambos casos se observa que se ubican en la escala de pH ácido. Esto nos da un resultado positivo, si es que hablamos de la industria de la madera de esta especie, especialmente en lo que corresponde a la de tableros, tales resultados son corroborados por Poblete & Burgos, (2010), que definen que el efecto de la acidez de la madera es de mayor importancia, cuando se trata de adhesivos que fraguan los materiales, principalmente en el encolado, es así que la acidez de la madera, toma mayor importancia cuando se trata de adhesivos que fraguan en ambiente ácido. Tomándose en cuenta que si al tener la madera un pH no compatible con el adhesivo, se afectan las propiedades mecánicas (Poblete & Burgos, 2010).

Rüdiger, (1975) de igual manera menciona que el pH de la madera es de vital importancia ya que influye en el fraguado de los adhesivos, sobre todo en el fraguado del adhesivo más usado en este tipo de industria: la urea formaldehído.

c. Corteza estado anhidro

En la tabla 13, se pueden observar los resultados de los valores de pH de la corteza en condición anhidra, obteniéndose de esta manera un rango de datos de 4 a 5, similares a los obtenidos en las pruebas de la madera de esta especie.

Tabla 13. Determinación del pH de la corteza en estado anhidro.

VALORES DE pH CORTEZA EN ESTADO ANHIDRO (promedio de dos mediciones después de 4 y 24 horas).	
ÁRBOL	CONDICIÓN ANHIDRA
N1	<u>4,94</u>
N2	5,16
N3	<u>5,31</u>
N4	5,02
N5	5,12
N6	5,11

Elaborado por: Freire, (2019).

Se determinó como dato mínimo de pH el valor de 4,94 perteneciente al árbol localizado en el subrodal 0107 E2 (Santa Ana) y como valor máximo a un pH de 5,31 perteneciente al árbol ubicado en el subrodal 0402 E2 (Colcas).

Analizando los valores se puede observar que el pH que corresponde a la corteza de estos seis árboles del estudio, ubicándolos en la escala, da como resultado un pH ácido. De acuerdo con Poblete & Sánchez, (1991), adecuado para su uso en la industria de la fabricación de tableros de partículas. Es posible la inclusión de la corteza de los árboles en combinación con su madera, hasta ciertas proporciones, ya que en algunos casos al agregar corteza se desmejora el aspecto y algunas de las características superficiales de los tableros. También menciona que al incluir la corteza en la elaboración se puede observar mejoras significativas en las propiedades físicas de dicho material.

Con los datos obtenidos tanto de la madera en estado verde y anhidro, así como los correspondientes a la corteza, dan como resultado un pH ácido, en cada uno de los seis árboles del estudio ubicados en los diferentes subrodales.

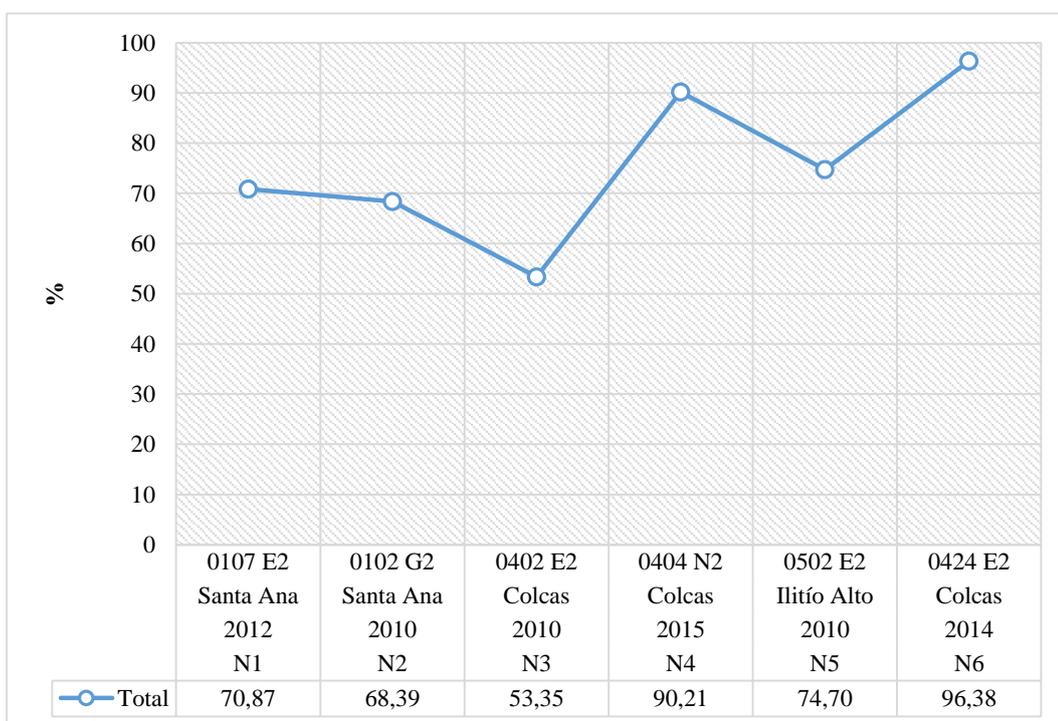
Los análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo se asemejan a los expuestos por Rüdiger, (1975) en su estudio sobre el pH de catorce especies forestales, en donde obtuvo tanto para madera en estado verde y anhidro, así como de corteza valores de pH ácido. Cabe destacar que en los resultados obtenidos se observan variaciones de la acidez de la madera en dependencia del ciclo vegetal anual, y en

relación a la edad; en el presente estudio se utilizó material correspondiente de diferentes años de plantación, que van de cuatro a nueve, de esta manera es posible observar los valores de pH de las maderas mencionando los diferentes factores que pueden influir, como son también: la temporada, el lugar, el tipo de suelo, entre otros.

B. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens*

1. Contenido de Humedad

Gráfico 1. Contenido de humedad de los árboles en los diferentes subrodales.



Elaborado por: Freire, (2019).

En el gráfico 1 se pueden apreciar los resultados correspondientes a los seis árboles de estudio, destacándose el mayor contenido de humedad que presenta el árbol N6 con un porcentaje del 96,38 % perteneciente a una plantación de cinco años caracterizado por ser un ensayo de espaciamiento y fertilización, y con el menor contenido de humedad el árbol N3 de edad de nueve años.

Analizados los valores, podemos observar que existe relación con la edad, es así que se encuentra que árboles de años de plantación menores presentan mayor contenido de

humedad, tal es el caso del N4 (2015) y N6 (2014) en comparación con aquellos que presentan más tiempo de plantación como son los establecidos en el año 2010.

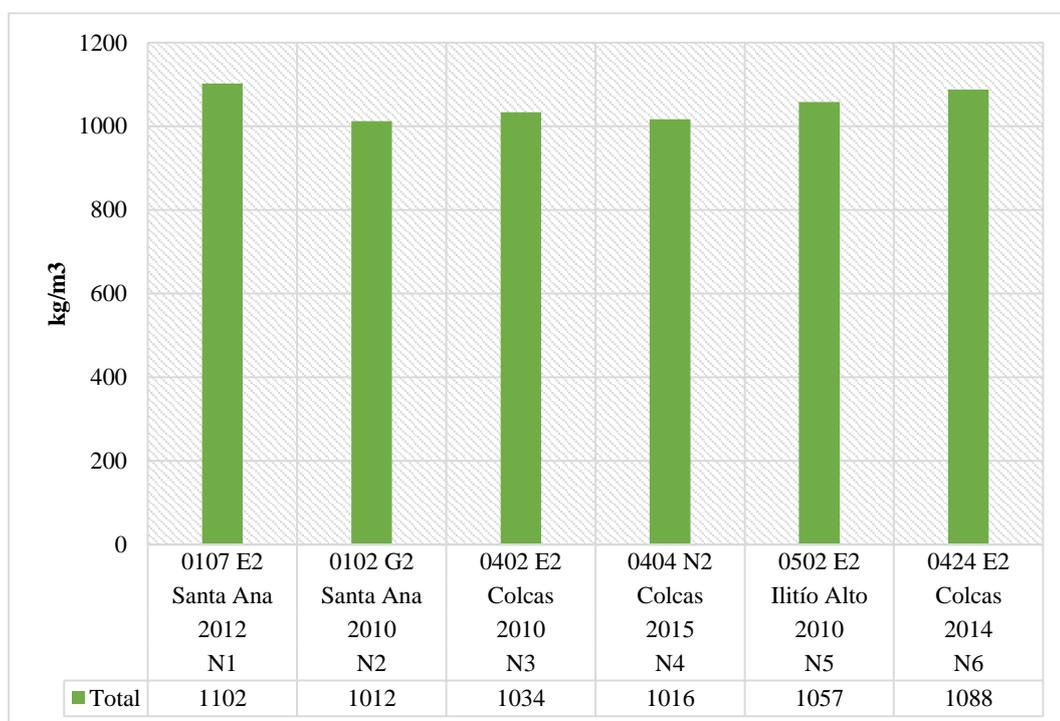
Se puede destacar que los árboles que presentaron mayor contenido de humedad pertenecen a diferentes ensayos de fertilización, es así que encontramos al árbol N4 y N6 con valores de 90,21 a 96,38 % de humedad, respectivamente.

También se pudo observar que dentro de cada uno de los árboles los porcentajes de humedad difieren en las diferentes partes del fuste (inferior, media y superior), estos resultados corroborados por Purnell, (1988) y Lausberg *et al.*, (1995) citado por Omonte *et al.*, (2019), en donde se menciona que la variación del contenido de humedad del árbol disminuye con el incremento de la altura en el fuste.

2. Densidad

a. Densidad Estado Verde

Gráfico 2. Densidad en estado verde de los árboles en los diferentes subrodales.

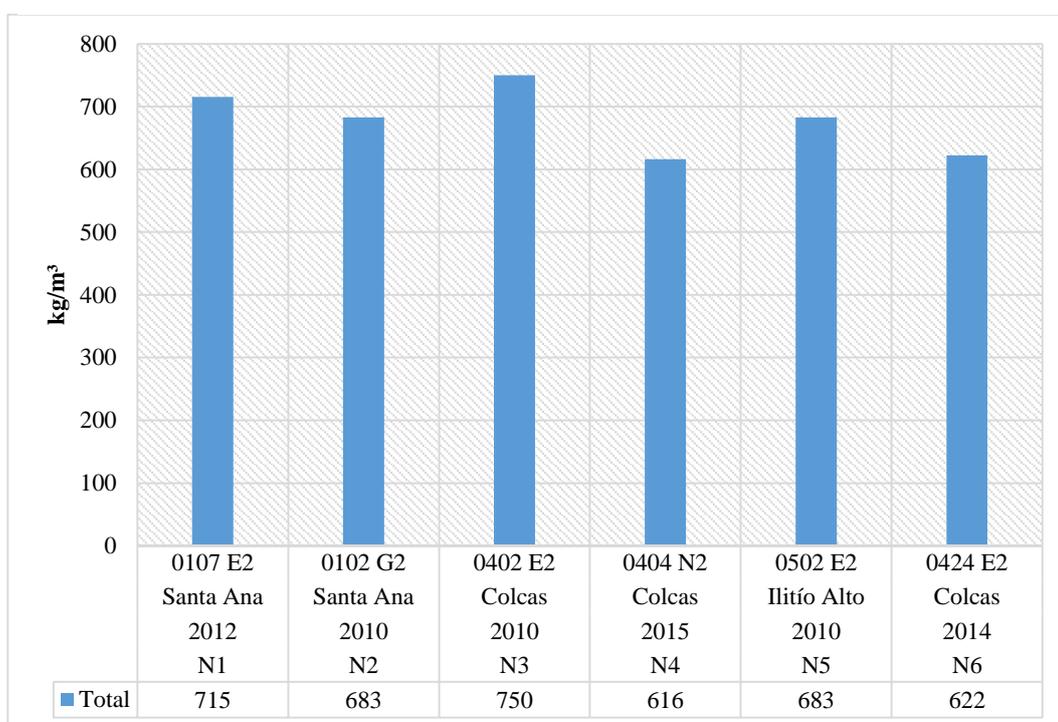


Elaborado por: Freire, (2019).

La densidad en estado verde de los árboles de *Eucalyptus nitens*, pertenecientes a los seis diferentes subrodales nos da como resultado los siguientes valores observados en el gráfico 2, el rango de los datos va desde 1012 kg/m³ como el valor menor perteneciente al árbol N2 localizado en el subrodal 0102 G2 (Santa Ana) con una edad de plantación de nueve años, hasta 1102 kg/m³ como valor mayor perteneciente al árbol N1 ubicado en el subrodal 0107 E2 (Santa Ana) plantación de 7 años de edad.

b. Densidad Seca al Horno

Gráfico 3. Densidad seca al horno de los árboles en los diferentes subrodales.



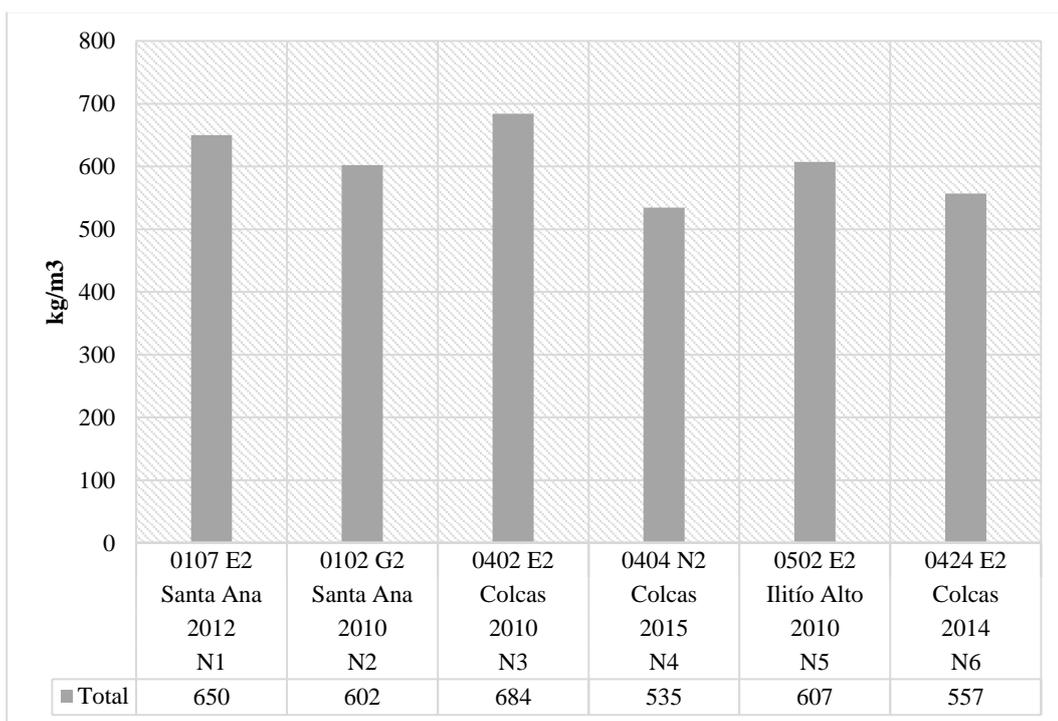
Elaborado por: Freire, (2019).

Los resultados de la densidad seca al horno de la madera de *Eucalyptus nitens* se los presenta en el gráfico 3, obteniendo como valor mínimo 616 kg/m³ perteneciente al árbol N4 ubicado en el subrodal 0404 N2 (Colcas) de cuatro años; observándose también que los árboles N2 de nueve años y N5 de nueve años localizados en los subrodales 0102 G2 (Santa Ana) y 0502 E2 (Ilitío Alto) respectivamente presentan un mismo valor de densidad: 683 kg/m³ y con un valor de 750 kg/m³ considerado como el

más alto al árbol N3 localizado en el subrodal 0402 E2 (Colcas) plantación de nueve años.

c. Densidad Básica

Gráfico 4. Densidad básica de los árboles en los diferentes subrodales.



Elaborado por: Freire, (2019).

En el gráfico 4 se pueden observar los resultados de la densidad básica de los árboles de los seis subrodales, dando valores que comprenden entre 684 kg/m^3 el árbol N3 de nueve años como dato mayor, destacando el caso del árbol N5 y N2, ambos pertenecientes a plantaciones de nueve años de edad con valores de 607 kg/m^3 y 602 kg/m^3 respectivamente los cuales no varían significativamente y como dato menor encontramos al árbol N4 de cuatro años de plantación.

Valores superiores de densidad presentan los árboles que tienen mayor edad de plantación, a diferencia de los más jóvenes; como los que se establecieron en ensayos de adaptación, tal es el caso de los plantados en el año 2010 y 2012.

De acuerdo a los datos de densidades, los árboles de igual edad gozan de valores semejantes, tanto en la densidad seca al horno y la densidad básica en donde

encontramos árboles de nueve años de edad establecidos en diferentes subrodiales pero con densidades parecidas, tal es el caso de los árboles N2 y N5.

Tomando referencia los valores de densidad básica para esta especie según Reyes; Halabí *et al.* (2005) y Gorrini *et al.* (2004), citado por Flández, (2006) en su investigación, nos indica los siguientes datos:

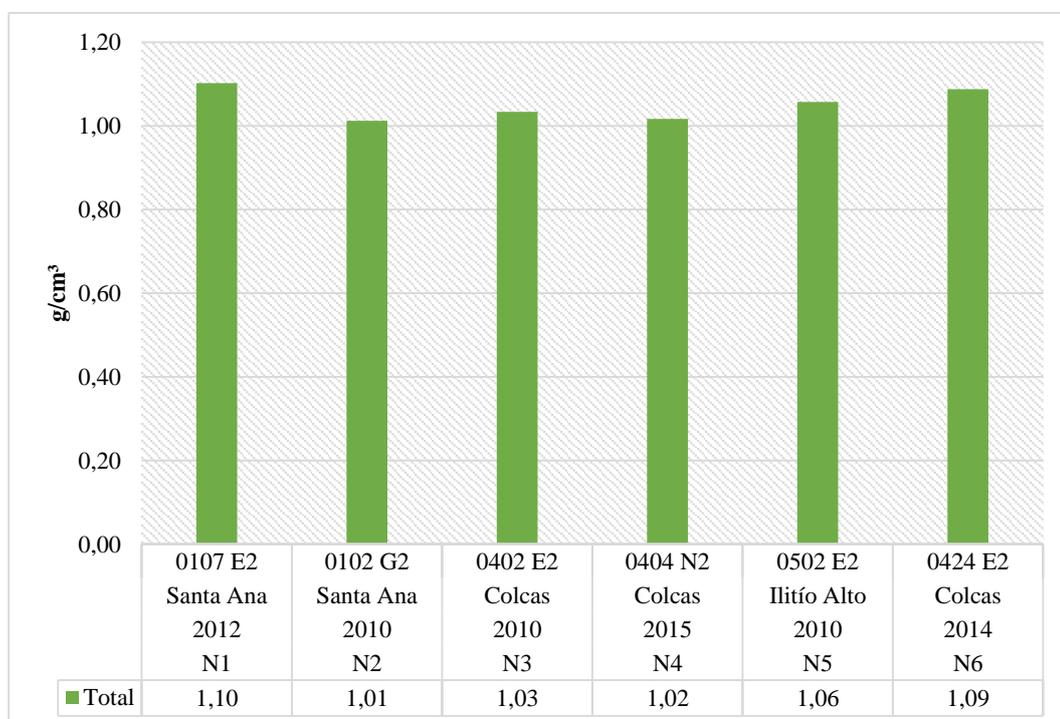
- Densidad 5 años: 430 kg/m^3 (Flández, 2006) < 557 kg/m^3 (Freire, 2019).
- Densidad de 6 a 10 años: $447 - 448 \text{ kg/m}^3$ (Flández, 2006) < $607 - 684 \text{ kg/m}^3$ (Freire, 2019).

Obteniéndose en el presente estudio valores de densidad mayores a los citados anteriormente.

3. Peso Específico

a. Peso Específico húmedo

Gráfico 5. Peso específico húmedo de los árboles en los diferentes subrodiales.

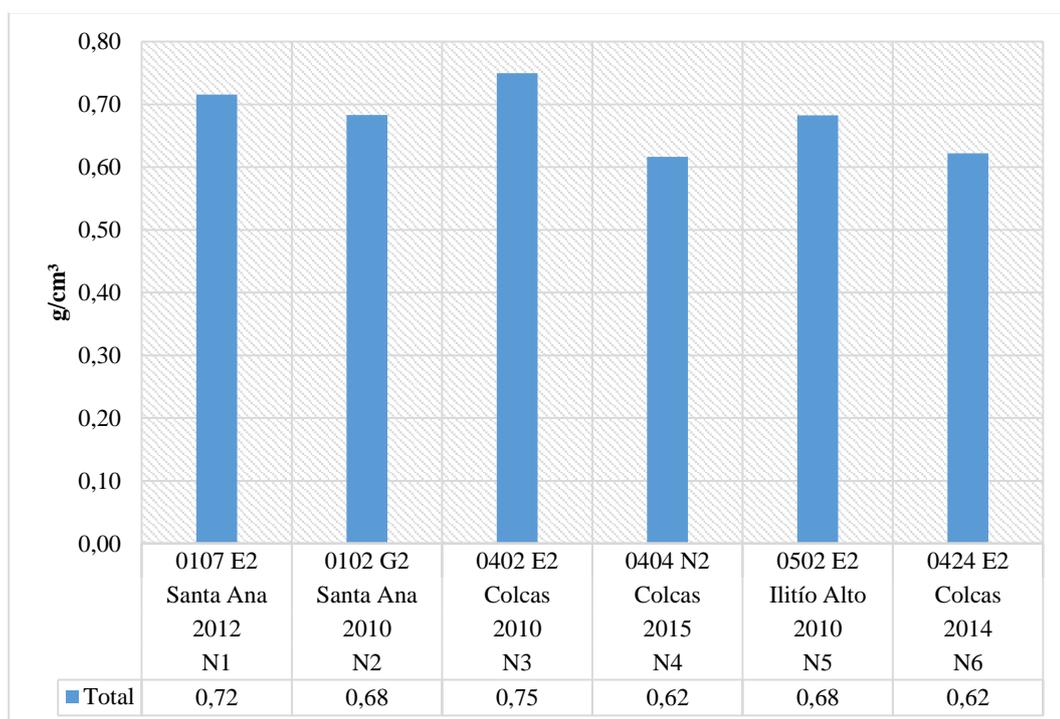


Elaborado por: Freire, (2019).

En el gráfico 5 se pueden observar los resultados del peso específico húmedo de los árboles en cada uno de los seis subrodales de estudio, destacándose los datos de $1,01 \text{ g/cm}^3$ como el valor menor perteneciente al árbol N2 y con un valor mayor de $1,10 \text{ g/cm}^3$ perteneciente al árbol N1 plantación de 7 años de edad.

b. Peso Específico seco

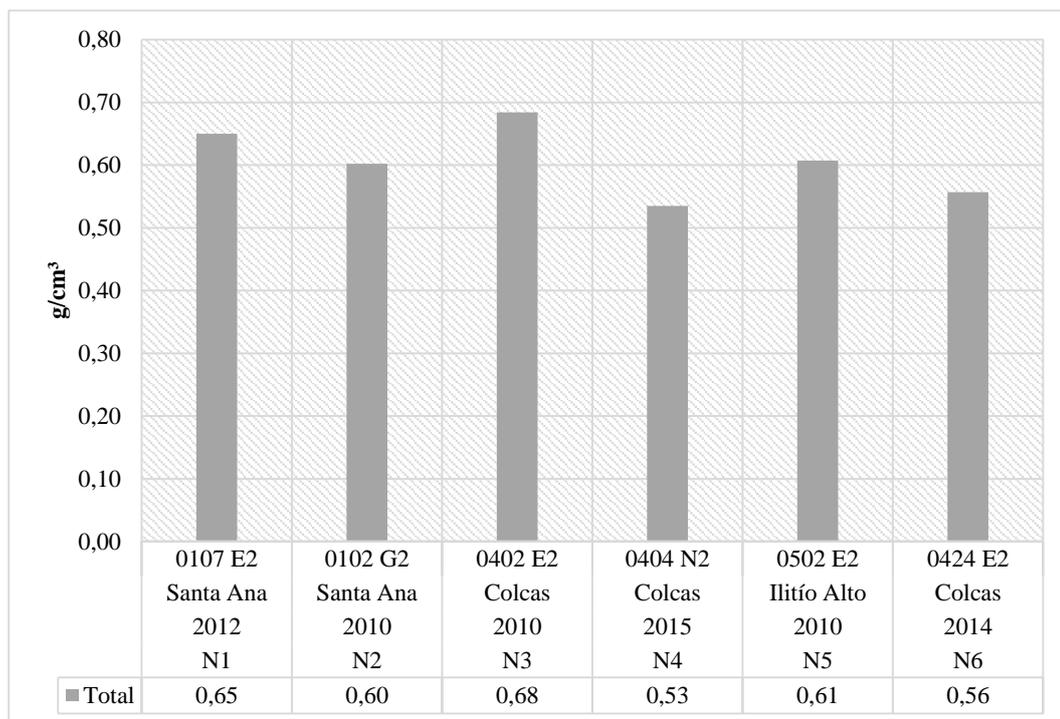
Gráfico 6. Peso específico seco de los árboles en los diferentes subrodales.



Elaborado por: Freire, (2019).

Se observan los resultados del peso específico en concisión seca en el gráfico 6, obteniendo como valor mínimo $0,62 \text{ g/cm}^3$ perteneciente al árbol N4 de cuatro años, seguido del árbol N6 con un peso específico seco de $0,62 \text{ g/cm}^3$ de cinco años, a continuación el árbol N2 y N5 ambos de nueve años con un valor de $0,68 \text{ g/cm}^3$; el árbol N1 de siete años con un valor de $0,72 \text{ g/cm}^3$ y con $0,75 \text{ g/cm}^3$ perteneciente al árbol N3 de nueve años, considerando como el valor mayor de peso específico seco.

c. Peso específico básico

Gráfico 7. Peso específico básico de los árboles en los diferentes subrodales.

Elaborado por: Freire, (2019).

En cuanto corresponde a los datos de peso específico básico, se observan los siguientes valores en el gráfico 7, en un rango que va desde 0,53 g/cm³ perteneciente al árbol N4 ubicado en el subrodal 0404 N2 (Colcas), hasta el 0,68 g/cm³ del árbol N3 del subrodal 0402 E2 (Colcas).

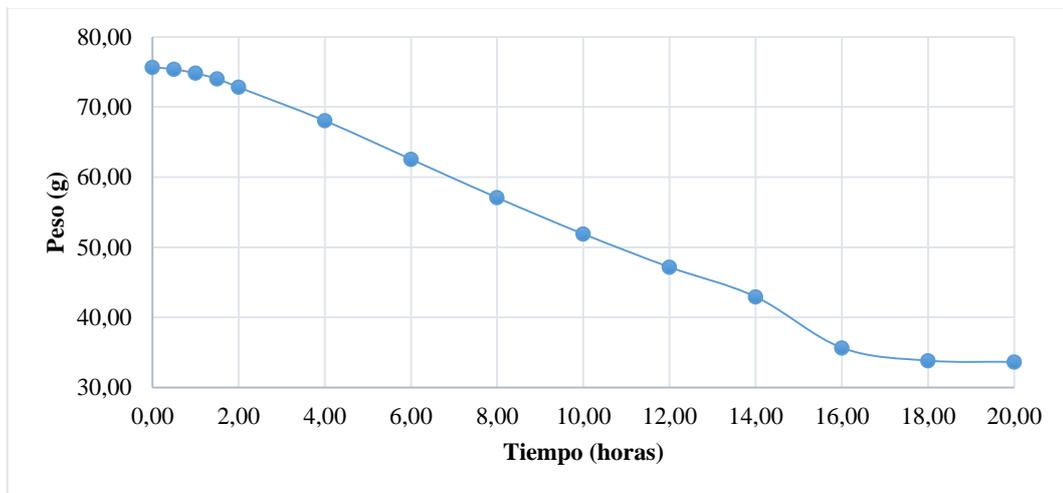
Con los datos obtenidos y de acuerdo a la clasificación de la madera según su densidad básica o peso específico básico, establecida por Vizcarra (1998) y citado por (Rivera, 2014), podemos ubicar a la madera de *Eucalyptus nitens* en el grupo IV, con un rango de 0,61 a 0,80 g/cm³ igual a Alta (A).

Curvas de Secado

Se establecieron las curvas de secado de las probetas de 5 x 5 x 3 cm determinándose el tiempo necesario hasta alcanzado su peso constante, llegando a su condición seca.

- **Curva de Secado al Horno**

Gráfico 8. Curva de secado al horno ($103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) de muestras de madera de *Eucalyptus nitens*.

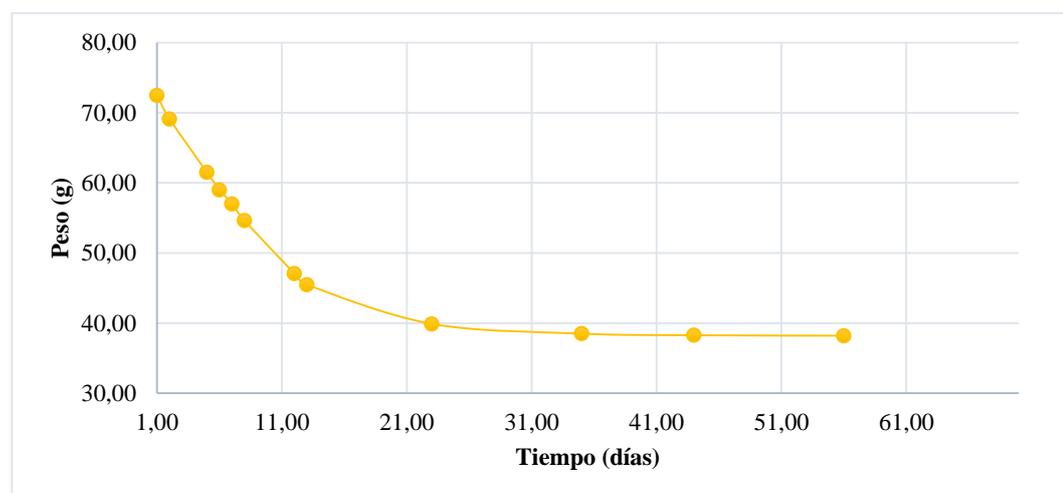


Elaborado por: Freire, (2019).

En el gráfico 8 se observa el peso de la madera que va disminuyendo en un intervalo de tiempo. Se estima un valor aproximado de doce horas para el secado de las probetas sin que sufran deformaciones, de este tiempo en adelante se comprueba que la madera empieza a sufrir alteraciones, presenta grietas y rajaduras.

- **Curva de Secado al Aire Libre Condición 1**

Gráfico 9. Curva de secado al aire libre condición 1 de muestras de madera de *Eucalyptus nitens*.

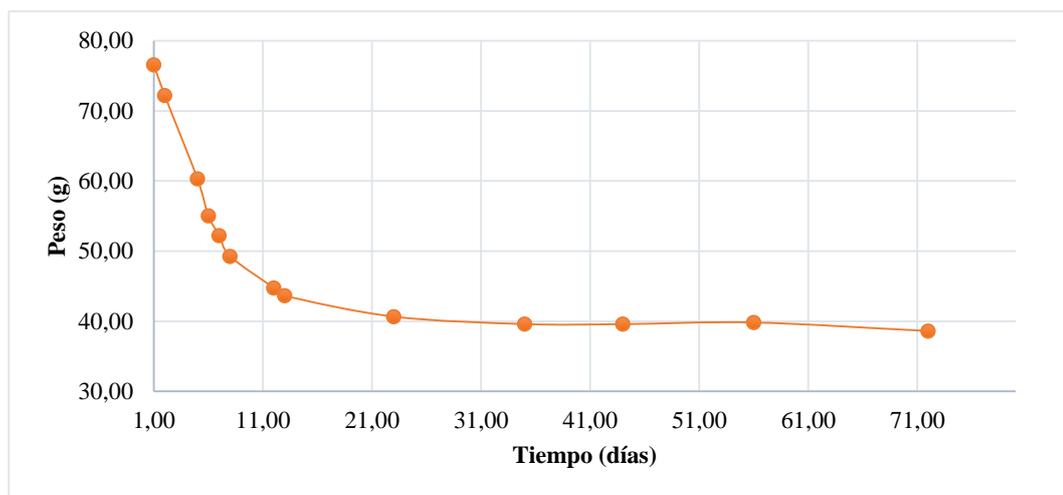


Elaborado por: Freire, (2019).

Los valores obtenidos al realizar la curva de secado al aire libre en la condición 1 con temperatura ambiental promedio de 14,5°C, bajo condiciones de laboratorio, en un espacio cerrado, nos da como resultado un intervalo de tiempo estimado en 60 días para que lleguen a su peso constante, como se puede observar en el gráfico 9.

- **Curva de Secado al Aire Libre Condición 2**

Gráfico 10. Curva de secado al aire libre condición 2 de muestras de madera de *Eucalyptus nitens*.



Elaborado por: Freire, (2019).

Los valores obtenidos de la curva de secado al aire libre en la condición 2 con temperatura de 11,5°C, en un espacio abierto con corrientes de aire circulantes bajo cubierta, podemos observar los resultados presentados en el gráfico 10, los cuales nos muestran una pérdida de humedad variable, con respecto a los mencionados bajo la primera condición, el peso constante se lo obtuvo en un periodo de 72 días.

Con los resultados obtenidos se puede observar la diferencia de tiempo que se demora la madera hasta llegar a su peso seco o constante, es muy marcada con respecto a los datos de las probetas secas al horno y las que se secaron al aire libre. Podemos deducir que mientras en el horno se determina un intervalo de doce a veinte horas para obtener las probetas secas, en condición al aire libre de demoran de 60 a 80 días.

Tabla 14. Tiempo estimado de secado de madera de *Eucalyptus nitens*.

Madera <i>Eucalyptus nitens</i>	Tiempo Estimado de Secado
Horno (103 ± 2 °C)	<u>12 - 20 horas</u>
Aire Libre (14,5°C)	60 días
Aire Libre (11,5°C)	72 días

Elaborado por: Freire, (2019).

Observando la tabla 14 se puede analizar y comprobar que el método más eficaz y apropiado de llegar a peso constante de la madera de esta especie es mediante la utilización del horno, en comparación del método de secado al aire libre, es así que se alcanzan las mismas condiciones y resultados en menos tiempo.

C. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens*

1. Flexión Estática

Tabla 15. Valores de flexión estática y módulo de elasticidad de cada árbol en estudio.

ÁRBOL	FLEXIÓN (kg/cm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
N1	613,38	67699,26
N2	<u>507,23</u>	44766,79
N3	719,57	58979,67
N4	660,93	55566,82
N5	584,74	74539,71
N6	<u>809,93</u>	62642,53

Elaborado por: Freire, (2019).

Con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo de flexión estática que se muestra en la tabla 15, se puede comparar los valores obtenidos de cada árbol en el estudio, encontrando así que el mayor valor 809,93 kg/cm² pertenece al árbol N6 del subrodal 0424 E2 (Colcas), seguido de un rango de valores entre 719,57 kg/cm² hasta el valor

mínimo de 507,23 kg/cm² el cual pertenece al árbol N2 ubicado en el subrodal 0102 G2 (Santa Ana).

De acuerdo con la tabla comparativa de la clasificación de las propiedades mecánicas según ASTM de Lastra, (1986) citada por Triana, Roso, & Paspur, (2008) y los resultados obtenidos se puede clasificar a la madera de *Eucalyptus nitens* de la siguiente manera: los valores de 507,23 kg/cm² del árbol N2, 584,74 kg/cm² perteneciente al árbol N5, 613,38 kg/cm² del árbol N1, 660,93 kg/cm² del árbol N4 y 719,57 kg/cm² del árbol N3 se ubican en la clasificación correspondiente a mediana y con el valor de 809,93 kg/cm² perteneciente al árbol N6 ingresa a la clasificación de alta. Suponiéndose este último valor a que el árbol mencionado se encuentra dentro de un ensayo de espaciado y fertilización, el cual influye de manera significativa en sus características, propiedades y comportamiento mecánico.

Los ensayos de flexión estática de la especie *Eucalyptus nitens*, son comparables con valores analizados de otras especies del mismo género. Como los datos mencionados por Sánchez, (1995) en donde se muestran los siguientes valores superiores: 1150 kg/cm² (*Eucalyptus camaldulensis*), 1047 kg/cm² (*E. globulus*), 1576 kg/cm² (*E. tereticornis*), 910 kg/cm² (*E. viminalis*) e inferiores: 732 kg/cm² (*E. grandis*) comparados con los datos obtenidos en el presente estudio, ubicándolo como una madera resistente (Sánchez, 1995).

Tabla 16. Tipos de fallos en las pruebas flexión estática.

ÁRBOL	Tensión simple	Tensión en fibra cruzada	Tensión astillada	Tensión en falla abrupta	Compresión	Cizalla o corte horizontal
N1		X	X			
N2	X	X				
N3	X	X				
N4	X		X			
N5		X	X			
N6		X		X		

Elaborado por: Freire, (2019).

Como se observa en la tabla 16, las probetas utilizadas para los ensayos de flexión estática sufrieron deformaciones y alteraciones en su estructura, por la aplicación de la carga o fuerza, descritos por la norma ASTM D143-14 (ASTM, 2014), entre los que se pudo observar en su gran mayoría fallos de tensión en fibra cruzada, seguidos de fallos de tensión simple y tensión astillado y en su minoría pero si significativo tensiones en falla abrupta, en donde se llegó hasta el colapso del material. No se pudo observar en ninguna probeta fallos por compresión, ni por cizalla o corte horizontal.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens* procedente de plantaciones pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. y se pudo comprobar mediante estadística descriptiva que una o varias de ellas difieren de un sitio de plantación a otro, en cada uno de los seis subrodiales del estudio, aceptándose la hipótesis alternante.
2. La determinación del pH de los árboles seleccionados independientemente de la edad y su diferente ubicación geográfica en los seis subrodiales tanto de la madera en su condición verde y anhidra, así como de la corteza arrojan valores que se ubican en la escala de pH iguales a ácido, se puede suponer que, en lo que corresponde a esta especie, *Eucalyptus nitens* no presenta problemas en cuanto a su utilización en la industria, tomando en consideración principalmente la encargada de la realización de tableros.
3. El contenido de humedad difiere tanto, dentro del mismo árbol a diferentes niveles del fuste, así como de un árbol a otro en cada uno de los seis subrodiales del estudio. Se encontró que el mayor contenido de humedad lo presentan árboles jóvenes con edades de cuatro y cinco años, mientras un contenido de humedad bajo corresponde a árboles de mayor edad. De acuerdo a la densidad obtenida de esta especie, se puede deducir que presenta valores significativos debido a su ubicación geográfica a pesar de pertenecer a los diferentes subrodiales. Cabe destacar que los valores de densidad altos lo presentan árboles de plantaciones establecidas de más años de edad en comparación con los árboles más jóvenes, esto debido a que en su proceso de crecimiento la lignina sustituye a la mayor parte del agua, aumentando su densidad y volumen. El peso específico no es más que otra representación de la densidad de la madera, sus valores se mantienen constantes, son numéricamente iguales a la densidad con la única diferencia de las unidades con las que se trabaje, es así que se determina en gramos/centímetro cúbico para trabajos científicos y en kilogramo/metro cúbico para estudios industriales, datos que no influyen en el resultado final.

4. El comportamiento mecánico de la madera de *Eucalyptus nitens* es congruente con el esperado para una madera de densidad alta y podría considerarse adecuado para su uso en la industria. Los datos sugieren que se trata de una madera rígida, apta para soportar esfuerzos cuando está sometida a flexión.

5. Las características químicas, especialmente las físicas y mecánicas se ven influenciadas tanto por su sitio de plantación, como por las condiciones de su establecimiento, es así que los valores más significativos corresponden a ensayos de fertilización, como es el caso del subrodal en donde se encuentra ubicado el árbol N6. Se puede suponer que al utilizar este tipo de metodología en su establecimiento, mejora significativamente cada una o varias de las propiedades estudiadas.

6. Los resultados obtenidos de la caracterización de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens*, y su comparación con valores ya reportados nos dan una referencia muy importante para su utilización industrial, considerándola una especie comercial con mucha potencialidad, por su rápido crecimiento y desarrollo, ubicándola de esta manera apta para desempeñarse de manera satisfactoria en aplicaciones de alto valor agregado, especialmente en la industria de tableros.

IX. RECOMENDACIONES

1. Para la realización de las pruebas de las características químicas, como es el caso del pH, se recomienda que las muestras que se ocupen en estado anhidro estén completamente secas, ya que esto influye directamente en los resultados a obtenerse.
2. Para las pruebas físicas de determinación del contenido de humedad, la densidad y el peso específico se debe tener clara la procedencia y posición de las muestras dentro del árbol, ya que esta información contribuye de manera directa a los análisis de los resultados y así se evita variaciones.
3. Es importante realizar las diferentes pruebas mecánicas de esta especie, pues si bien no se lo tenía como objetivo principal, se podría realizar un estudio específicamente para madera estructural.
4. Realizar nuevos estudios de caracterización de las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la especie *Eucalyptus nitens* considerando distintos factores a los presentes estudiados, como pueden ser: cambio de estación, variaciones de precipitación, clima, humedad, entre otros que permitan corroborar los datos obtenidos en este estudio.
5. Continuar con los estudios de la especie *Eucalyptus nitens* enfocándose principalmente en las edades y los diferentes rangos altitudinales.

X. RESUMEN

La presente investigación propone: caracterizar las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus nitens*, procedente de plantaciones pertenecientes a la Empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., seis subrodales en estudio ubicados en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, de diferentes edades y rangos altitudinales. Las pruebas y los ensayos se los realizó bajo procedimientos técnicos, con la utilización de diversas normas, tanto en el laboratorio de Investigación y Desarrollo (COTOPAXI LAB) y en el laboratorio de Control de Calidad localizados en la empresa. Evaluándose seis árboles, uno por cada zona de estudio. Se pudo comprobar mediante estadística descriptiva que una o varias de las propiedades difieren de un sitio de plantación a otro. Dentro de las propiedades químicas se determinó el pH tanto de la madera en sus estados verde y anhidro, así como de la corteza, dando como resultado valores dentro de la escala ácida. En lo relacionado con las propiedades físicas de la madera, se determinó el contenido de humedad arrojando valores que alcanzan hasta un 96,38 %; con datos de densidad que van desde los 535 kg/m³ hasta los 658 kg/m³ y peso específico que clasifican a la madera de esta especie como alta. Se determinó también la propiedad mecánica de flexión estática que considera a esta madera rígida y apropiada para su utilización en la industria. La información generada pretende contribuir al conocimiento tecnológico de esta especie forestal comercial destinada a su correcto y eficaz aprovechamiento como materia prima.

Palabras clave: MADERA - PROPIEDADES FÍSICAS - PROPIEDADES MECÁNICAS - PROPIEDADES QUÍMICAS.

Por: Joselyn Freire



XI. SUMMARY

The present investigation proposes to characterize the chemical, physical and mechanical properties of *Eucalyptus nitens* wood coming from plantations belonging to the Aglomerados Cotopaxi S.A. Company, six sub-stand areas located in the Latacunga canton, Cotopaxi province, of different ages and height ranges are included in the study. The tests and experiments were carried out under technical procedures, with the use of various standards, both in the Research and Development Laboratory (COTOPAXI LAB) and in the Quality Control Laboratory located in the company. Six trees were evaluated, one for each study area. It could be verified by the means of descriptive statistics that one or more of the properties differ from one planting to another. Within the chemical properties the pH of both the wood in its green and anhydrous states, as well as the bark, was determined, resulting in values within the acid scale. Regarding the physical properties of the wood, the moisture content was determined, yielding values that reach up to 96.38%; with density data ranging from 535 kg/m³ and specific weight that rank the wood of this species as high qualified. The mechanical property of static bending was also determined which considers this wood rigid and appropriate for being used in industry. The information generated aims to contribute to the technological knowledge of this commercial forest species fostering its correct and effective use as a raw material.

Keywords: Wood, Physical Properties, Mechanical Properties, Chemical Properties.



XII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. (1949). *El eucalipto en Ecuador* (2ª. ed.) Quito - Ecuador: Publicaciones Científicas.
- Aglomerados Cotopaxi. (2019). *Sobre Nosotros*. Recuperado de: <https://www.cotopaxi.com.ec/nosotros> el 12/03/2019.
- Aglomerados Cotopaxi. (2019). *Datos de clima*. Estación Meteorológica Vivero San Joaquín. Estación Meteorológica Colcas. Cotopaxi - Ecuador.
- Aguila, I. (2009). *Determinación del ph y la capacidad buffer a diferentes alturas del fuste y corteza de la capirona (Calycophyllum spruceanum Benth.) En la zona de Tingo María*. (Tesis de Grado. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables mención Forestales). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú.
- American Society Of Testing Materials. (2014). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber 1*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D0143-14.2>. el 20/03/2019.
- American Society Of Testing Materials. (2017). *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. ASTM D2395 - 17*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1520/D2395-17.2> el 20/03/2019.
- Asociación De Investigación Técnica De Las Industrias De La Madera. (1976). *Propiedades físicas de la madera: peso específico*. Recuperado de: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_877_16765.pdf el 10/04/2019.
- Bernabé, R., Ávila, L. E., & Rutiaga, J. (2013). *Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. Chemical components of the wood of five pine species of Morelia, Michoacán*. Artículo de Investigación Madera y Bosques, 19(2), 21–35.

- Cruz de León, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. Morelia - México.
- Ecuador Forestal. (2019). *Sector Forestal Productivo Formal*. Recuperado de: <https://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/sector-forestal-productivo-formal/> el 10/03/2019.
- Flández, J. (2006). *Efecto de ayudantes en pulpaje kraft basados en antraquinonas y surfactante sobre pulpa de Eucalyptus nitens*. (Tesis de Grado. Ingeniera en Maderas). Universidad Austral de Chile. Valdivia - Chile.
- Fritz, A. (2007). *La construcción de viviendas en madera*. Chile: CORMA - Corporación Chilena de la Madera.
- Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias. (2017). *Proyecto cambio de la matriz productiva*. Mejía. Pichincha - Ecuador: INIAP.
- International Organization for Standardization. (1982). *Norma ISO 4470 – 1982. Wood -- Sampling sample trees and logs for determination of physical and mechanical properties of wood in homogeneous stands*.
- Juela, T. (2015). *Caracterización de las propiedades físicas de la madera de Eucalyptus saligna Smith en la provincia de Loja*. (Tesis de grado. Ingeniera Forestal). Universidad Nacional de Loja. Loja - Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Recuperado de: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVELNACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf> el 26/7/2019.
- Montecinos, J., Cerrogrande, G., & Ponce, J. (2008). *Propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies forestales Sirari (Copaifera chodatiana) y Tarara colorada (Platymiscium ulei) (No. 1)*. Santa Cruz - Bolivia.

- Morejon, C. (2018). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales: Piptocoma discolor (Kunth.) Pruski (PIGUE), Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (CHONTA) y Pouteria glomerata (INTACHI)*. (Tesis de Grado. Ingeniera Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
- Omote, M., Carillo, K., Ananías, R., & Valenzuela, L. (2019). *Variación del contenido de humedad verde y de la densidad básica de la madera en árboles de Eucalyptus nitens con dimensiones aserrables*. Maderas. Ciencia Y Tecnología, 21(3), 1–23. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005XXXXXX> el 20/04/2019.
- Paguay, I. (2013). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (Styloceras sp), yagual (Polylepis racemosa), nogal (Juglans neotropica)*. (Tesis de Grado. Ingeniera Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.
- Paz, F. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (Gmelina arborea Roxb.) de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. (Tesis de Grado. Ingeniero Químico). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Peniche, C. (1990). *La madera y la arquitectura*. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Departamento de Procesos y Técnicas de Realización. Universidad Autónoma Metropolitana. 137 p. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/rxm/vol01-03/RXM001000307.pdf> el 10/03/2019.
- Peralta, N. (2009). *La industria maderera nacional, incidencia tributaria en su proceso productivo y de comercialización*. (Tesis de Maestría. Área de Derecho). Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador. Recuperado de: [http://repositorionew.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2695/1/T0878-MT-Peralta-Industria maderera.pdf](http://repositorionew.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2695/1/T0878-MT-Peralta-Industria%20maderera.pdf) el 25/04/2019.

- Pérez (1983). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Manual de Propiedades físicas y mecánicas de Madera. Galicia - España.
- Poblete, H., & Burgos, R. (2010). *Eucalyptus nitens como materia prima para tableros de particulas. Eucalyptus nitens as raw material for particleboards*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 12(1), 25–35.
- Poblete, H., & Roffael, E. (2004). *Acidez de la corteza de algunas especies nativas chilenas*. *Bosque (Valdivia)*, 25(3), 73–78. Recuperado de: <https://doi.org/10.4067/s0717-92002004000300008> el 20/05/2019.
- Poblete, H., & Sanchez, J. (1991). *Tableros con corteza de Pinus radiata*. *Bosque*, 12(1), 17-26.
- Rivera, J. (2014). *Variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes alturas de fuste de Bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) en la zona Tingo María*. (Tesis de Grado. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables mención Forestales). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María - Perú.
- Royal Botanic Gardens. (2019). *Eucalyptus nitens (H.Deane & Maiden) Maiden*. Recuperado de: <http://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/cgi-bin/NSWfl.pl?page=nswfl&lvl=sp&name=Eucalyptus~nitens> el 09/03/2019.
- Rüdiger, A. (1975). *Determinacion del ph en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia*. *Bosque*, 1(1), 3–5. Recuperado de: <https://doi.org/10.4206/bosque.1975.v1n1-02> el: 15/04/2019.
- Salvador, M. (2010). *Protocolo de campo para la selección y colección de muestras para la caracterizacion anatomica y de propiedades fisicas, mecánicas, quimicas y tecnologicas de la madera*. Pucallpa - Perú.

- Sánchez, D., & Roa, E. (2015). *Correlación entre la densidad y la flexión estática para Eucalyptus globulus Labill. procedente de la sabana Cundiboyacense*. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
- Sánchez, M. (1995). *Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto*. Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria - 74–91. Sao Paulo.
- Taquire, A., Hidalgo, D., & Ledesma, M. (2014). *Diferencias anatómicas entre madera caulinar y radical de Eucalyptus viminalis L*. Convicciones, 1(1), 60–65.
- Téllez, C., Herrera, M., & Rutiaga, J. (2009). *Anatomía, física y mecánica de la madera de Andira inermis (W. Wright) DC. (Leguminosae)*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 15(1), 15–21.
- Triana, M., Roso, G., & Paspur, S. (2008). *Estudio de las propiedades mecánicas de la madera de palosangre (Brosimum rubescenstaub.), procedencia: Leticia, Amazonas*. Revista Colombia Forestal, 11, 149–164.
- Trópicos.org. Missouri Botanical Garden. (2019). *Eucalyptus nitens (H. Deane & Maiden) Maiden*. Recuperado de: <http://www.tropicos.org/NamePage.aspx?nameid=22103181&langid=66> el 05/03/2019.
- Umerez, H. (2015). *Análisis de propiedades físicas de la madera de Populus x euramericana Y Pinus pinaster tras tratamientos de oleotermia*. (Tesis de Maestría. Ingeniero en Montes). Universidad de Valladolid. Palencia - España.
- Vargas, C. (2012). *Caracterización físico-química de suelos en plantaciones de Pinus radiata en Acosa, parroquia Lasso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. (Tesis de Grado. Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.

XIII. ANEXOS

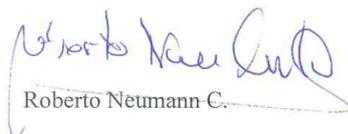
Anexo 1. Certificado otorgado por la empresa AGLOMERADOS COTOPAXI S.A.



Latacunga, 07 de agosto del 2019

Por medio del presente documento se certifica, que el material utilizado por la tesista Joselyn María Freire Cruz con C.I. 180477552-4 en su trabajo de titulación: “**CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* PROCEDENTE DE PLANTACIONES PERTENECIENTES A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**”, pertenece a árboles del género: *Eucalyptus*, especie: *nitens*; el origen de la semilla es de Chile, la cual actualmente se encuentra ubicada en los diferentes ensayos dentro del patrimonio de la empresa.

Atentamente.



Roberto Neumann C.

GERENTE DE PATRIMONIO

AGLOMERADOS COTOPAXI S.A.

Anexo 2. Selección de los árboles para el estudio.



Anexo 3. Toma de alturas y diámetros de los árboles.



Anexo 4. Talado, tumbado y apeo de los árboles.**Anexo 5. Toma y registro de medidas.**

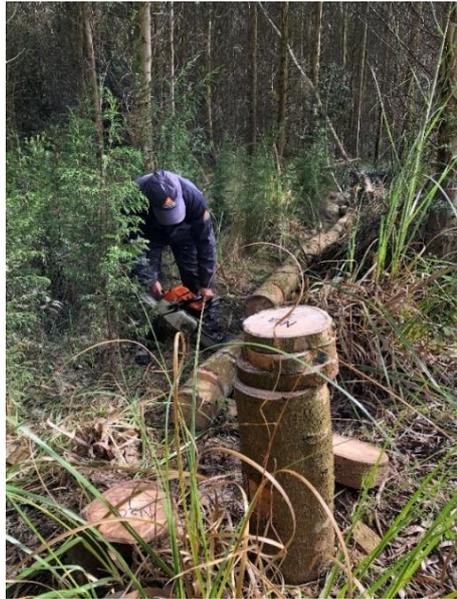
Anexo 6. Toma de medidas para elaboración de trozas y rodelas.



Anexo 7. Ejemplo de codificación de trozas de los árboles para el estudio (árbol 1).

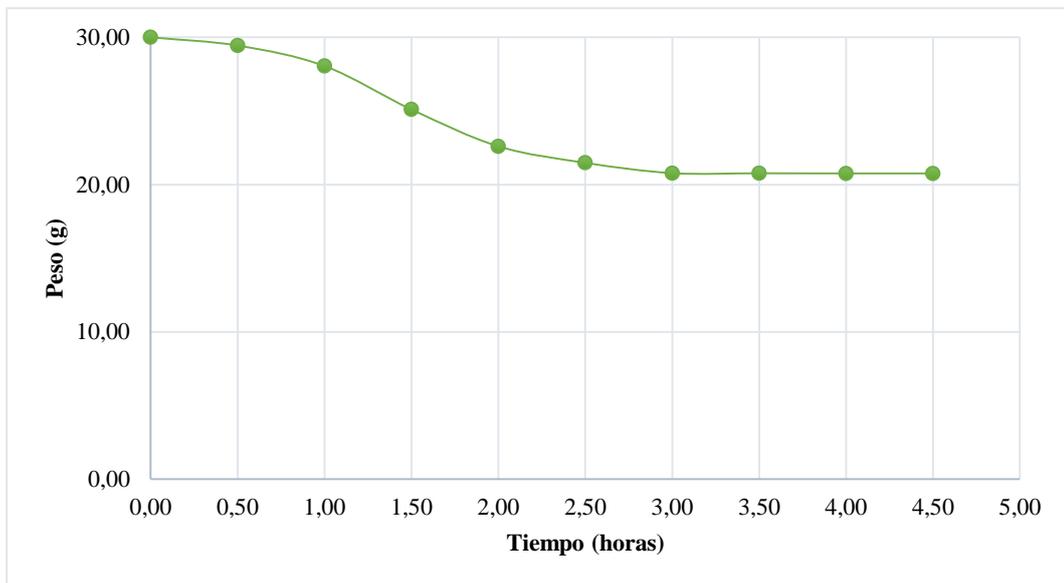
ÁRBOL N°	1	CÓDIGO	N1		
LONGITUD ÁRBOL (Elaboración Trozas)	21 m	SECCIONES ÁRBOL (Elaboración Trozas)	3	TAMAÑO DE LA SECCIÓN (Elaboración Trozas)	7 m
NÚMERO TROZAS		3			
DIÁMETRO TROZA (cm)					
TROZA N°	COD TROZA	SUP	INF	LONG TROZA	FECHA RECOLEC.
1	N1a	18	20,3	1,50 m	23/4/2019
2	N1b	14,1	15,1	1,50 m	23/4/2019
3	N1c	7,4	9,6	1,50 m	23/4/2019

Elaborado por: Freire, (2019).

Anexo 8. Identificación y codificación del material de estudio.**Anexo 9. Elaboración de probetas para las diferentes pruebas.**



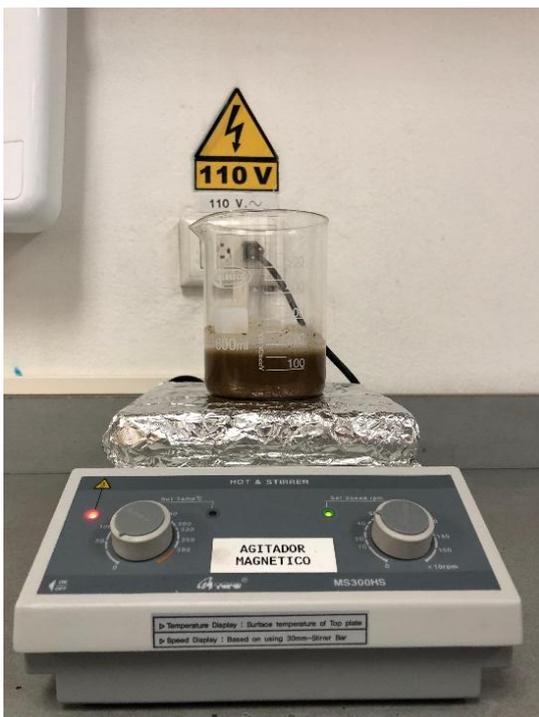
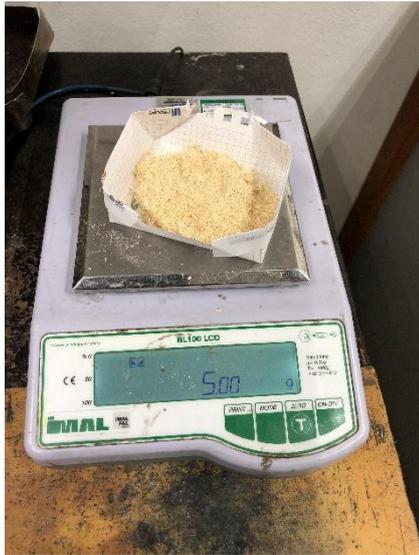
Anexo 10. Curva de secado aserrín de madera de *Eucalyptus nitens* para pruebas de pH.



Elaborado por: Freire, (2019).

Anexo 11. Material para pruebas de pH, aserrín de madera (verde y anhidra) y corteza.



Anexo 12. Pruebas de pH de madera y corteza *Eucalyptus nitens*.

Anexo 13. Realización de pruebas físicas y mecánicas.



Anexo 14. Contenido de Humedad en los diferentes árboles.

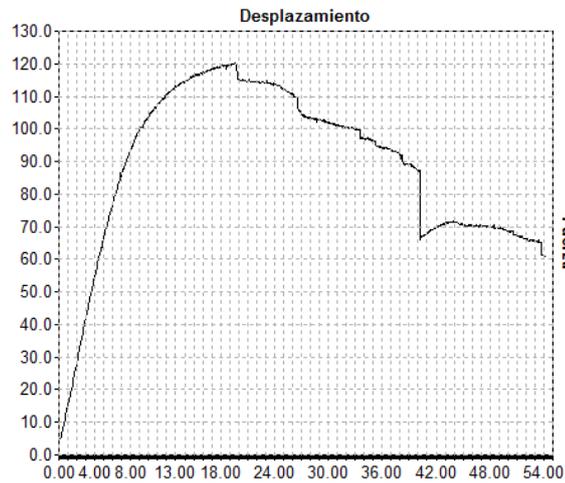
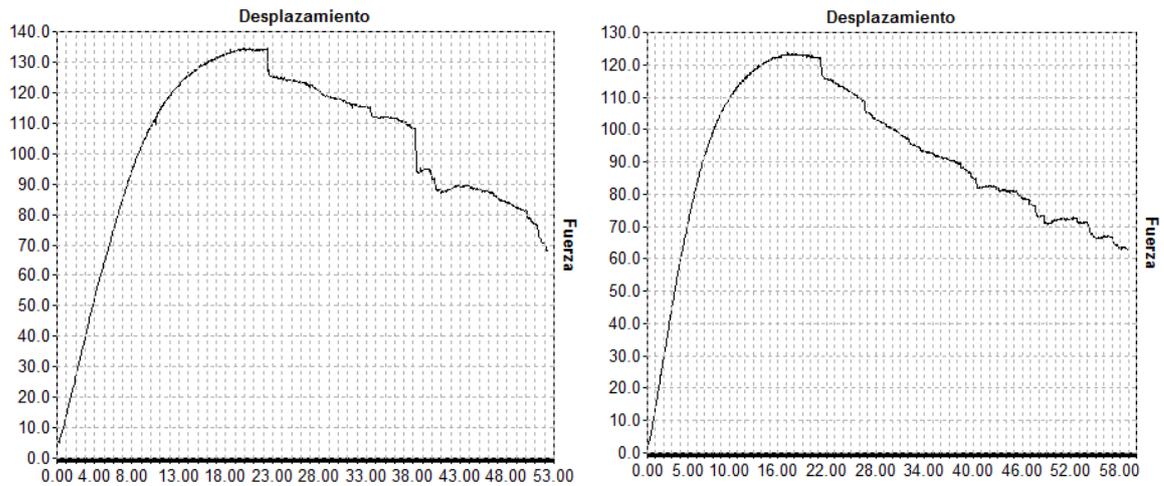
HUMEDAD N1				
	N PROBETA	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	73,05	38,85	88,03
	2	71,61	38,66	85,23
	3	70,36	44,65	57,58
SECCIÓN MEDIA	4	81,93	43,48	88,43
	5	80,42	49,43	62,69
	6	83,83	50,7	65,35
SECCIÓN SUPERIOR	7	74,68	52,24	42,96
	8	75,02	42,38	77,02
	9	76,31	44,75	70,53
	PROMEDIO	76,36	45,02	70,87
	DESV. EST.	4,71	4,90	15,41
HUMEDAD N2				
	N PROBETA	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	85,04	47,28	79,86
	2	79,59	40,36	97,20
	3	75,5	44,62	69,21
SECCIÓN MEDIA	4	66,44	44,96	47,78
	5	67,66	46,5	45,51
	6	74,05	42,62	73,74
SECCIÓN SUPERIOR	7	73,15	41,68	75,50
	8	71,26	45,59	56,31
	9	76,48	44,88	70,41
	PROMEDIO	74,35	44,28	68,39
	DESV. EST.	5,77	2,28	16,36
HUMEDAD N3				
	N PROBETA	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	79,92	46,8	70,77
	2	80,17	54,61	46,80
	3	84,98	65,37	30,00
SECCIÓN MEDIA	4	80,3	57,72	39,12
	5	73,74	52,66	40,03
	6	81,34	59,23	37,33
SECCIÓN SUPERIOR	7	73,59	46,07	59,74
	8	80,06	44,29	80,76
	9	75,39	42,93	75,61
	PROMEDIO	78,83	52,19	53,35
	DESV. EST.	3,81	7,70	18,76

HUMEDAD N4				
	N PROBETA	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	78,88	40,12	96,61
	2	78,74	40,76	93,18
	3	88,59	42,87	106,65
SECCIÓN MEDIA	4	80,08	42,83	86,97
	5	80,32	43,71	83,76
	6	80,21	41,86	91,61
SECCIÓN SUPERIOR	7	67,06	36,61	83,17
	8	79,12	41,98	88,47
	9	80,5	44,36	81,47
	PROMEDIO	79,28	41,68	90,21
	DESV. EST.	5,48	2,32	7,93

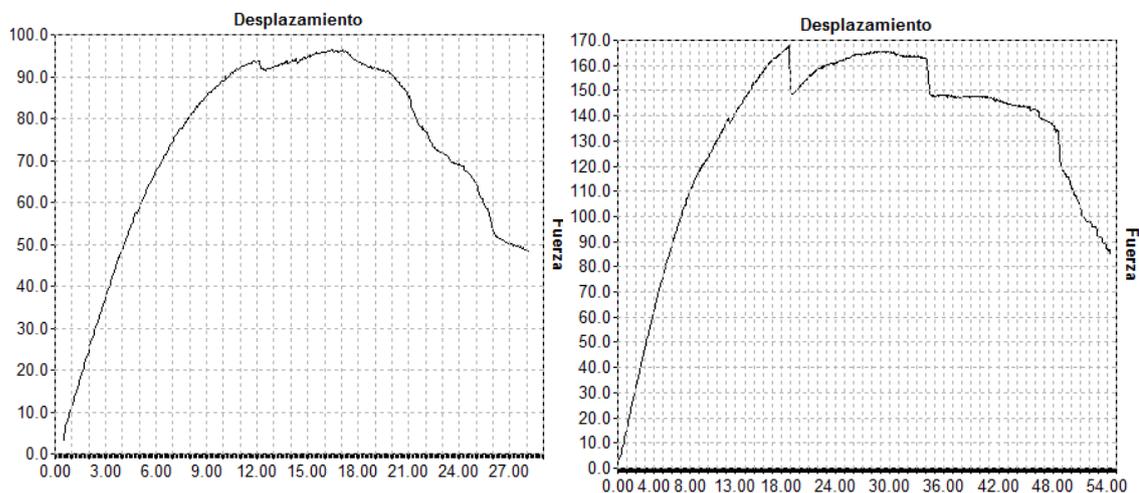
HUMEDAD N5				
	N PROBETA	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	81,68	41,76	95,59
	2	81,57	46,69	74,71
	3	89	46,69	90,62
SECCIÓN MEDIA	4	90,02	53,39	68,61
	5	77,88	49,73	56,61
	6	83,35	47,67	74,85
SECCIÓN SUPERIOR	7	78,94	43,76	80,39
	8	79,73	48,07	65,86
	9	76,49	46,34	65,06
	PROMEDIO	82,07	47,12	74,70
	DESV. EST.	4,71	3,32	12,54

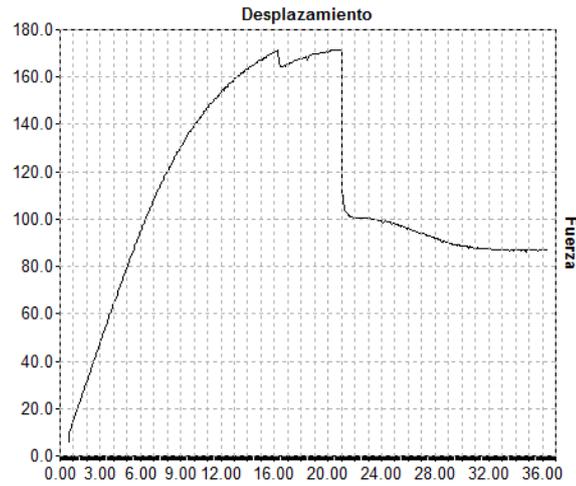
HUMEDAD N6				
	N	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	HUMEDAD %
SECCIÓN INFERIOR	1	80,75	38,54	109,52
	2	88,31	45,20	95,38
	3	79,69	40,02	99,13
SECCIÓN MEDIA	4	83,47	47,75	74,81
	5	86,51	41,31	109,42
	6	77,24	35,70	116,36
SECCIÓN SUPERIOR	7	87,54	45,54	92,23
	8	85,14	45,48	87,20
	9	81,11	44,22	83,42
	PROMEDIO	83,31	42,64	96,38
	DESV. EST.	3,84	3,96	13,62

Anexo 15. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N1.

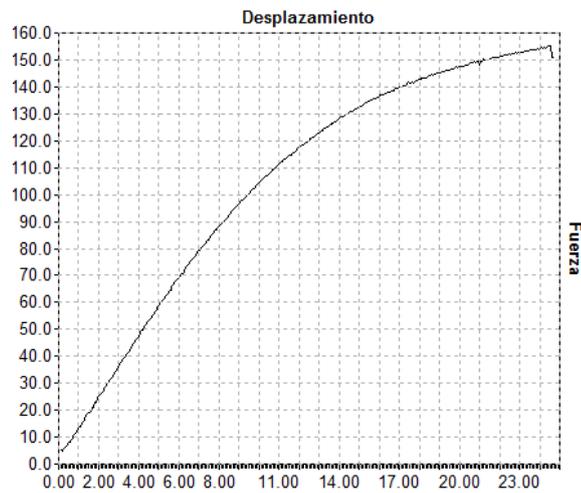
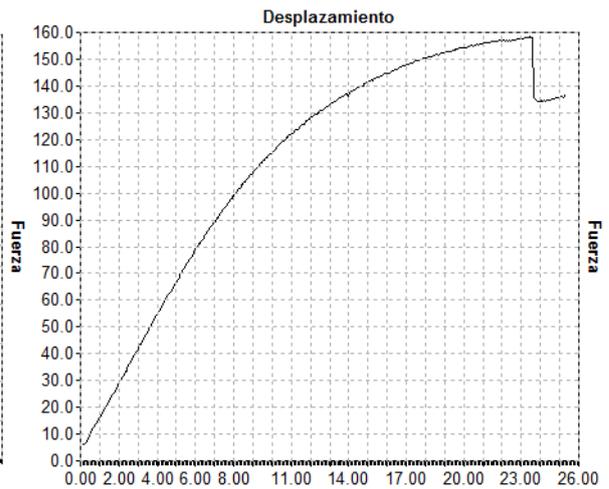
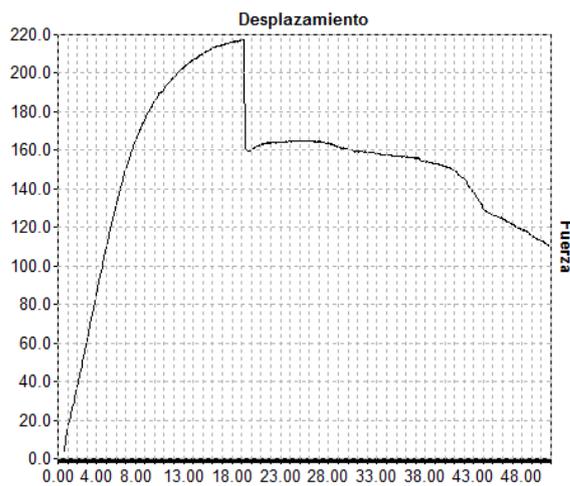


Anexo 16. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N2.

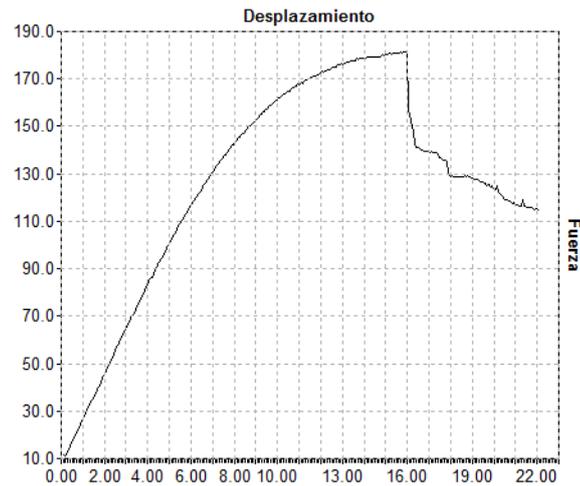
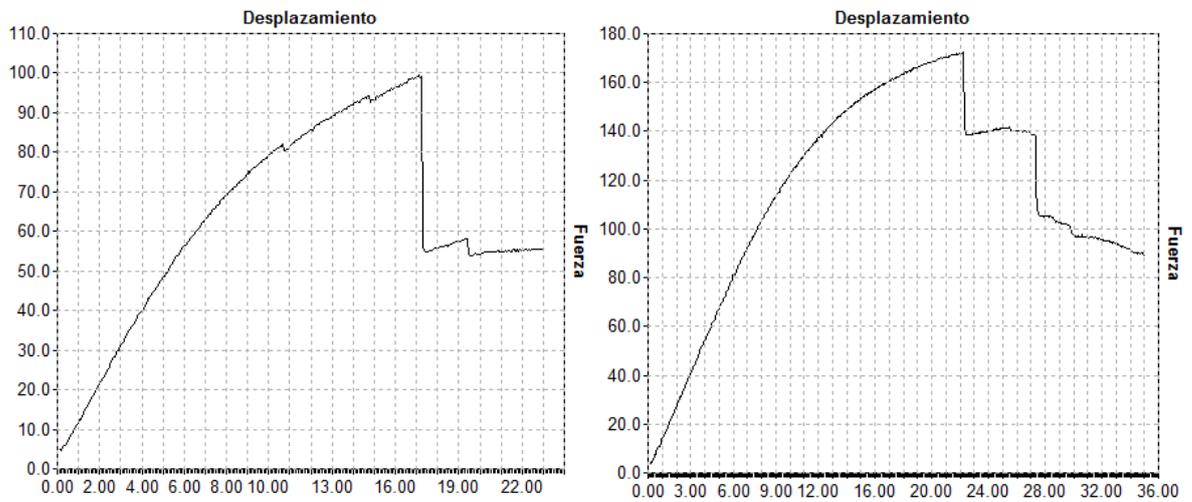




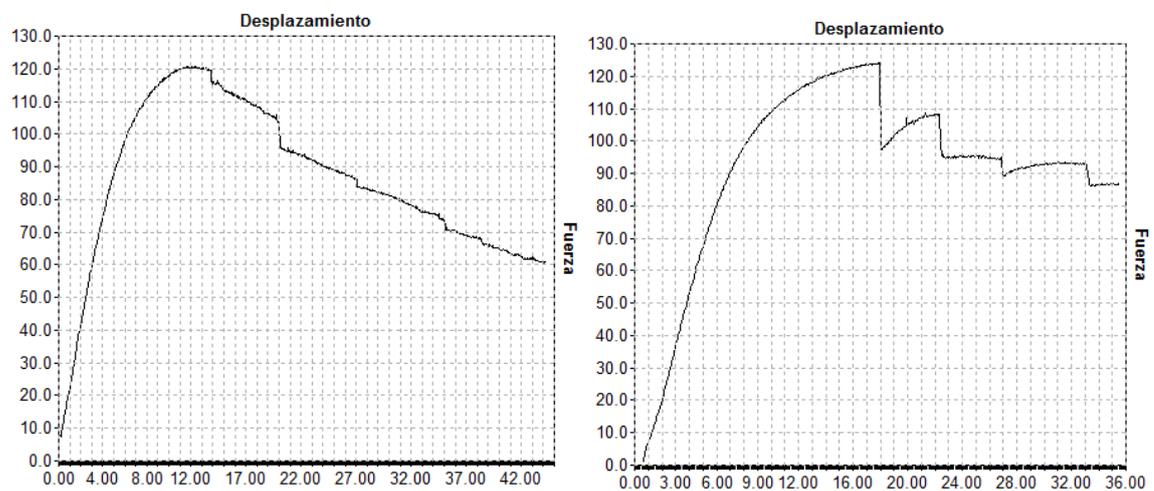
Anexo 17. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N3.

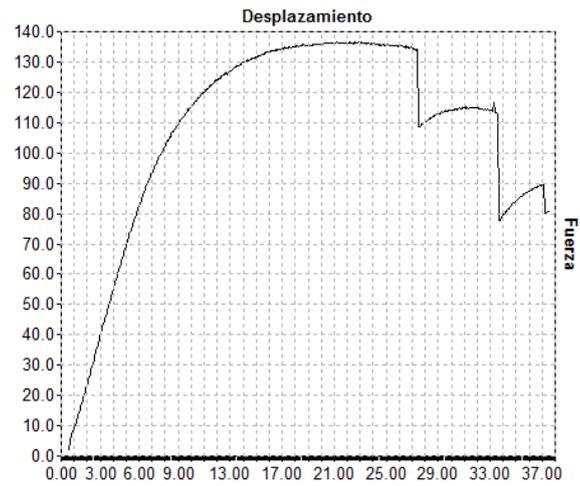


Anexo 18. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N4.

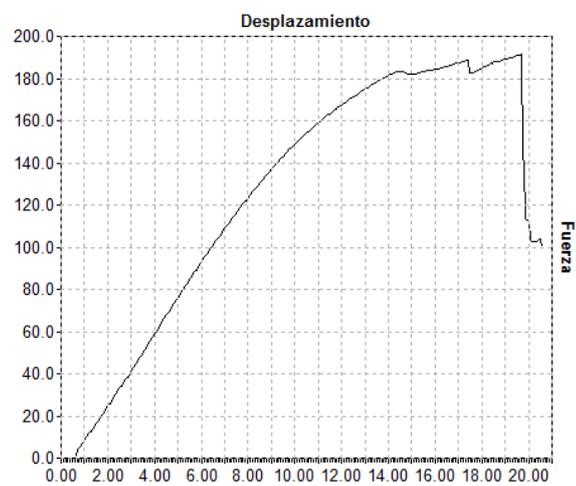
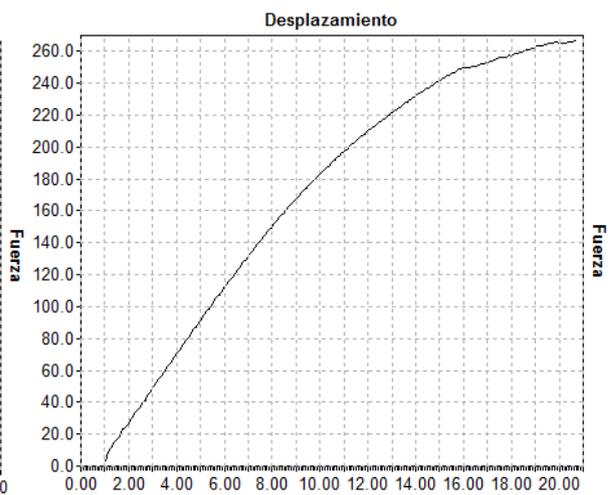
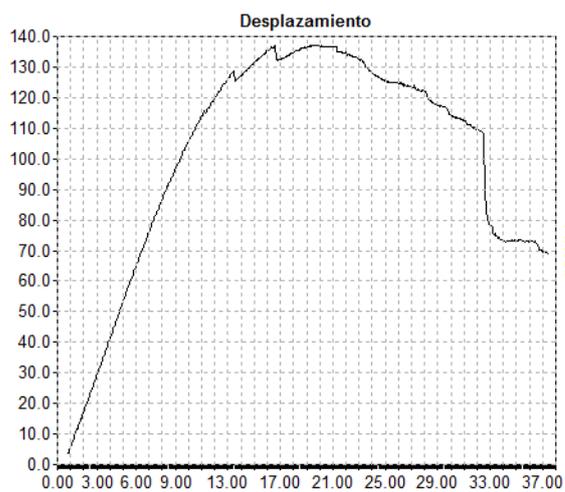


Anexo 19. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N5.





Anexo 20. Gráficos fuerza-desplazamiento (ensayo flexión estática), probetas a, b, c árbol N6.



Anexo 21. Material para elaboración de curvas de secado.