



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Mejoramiento de la calidad de la madera a utilizar en
fortificaciones interior mina.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN MINAS

Autor:

EVELYN NOEMI CRIOLLO VASQUEZ

Director:

ERNESTO PATRICIO FEJOO CALLE

CUENCA - ECUADOR

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido seguir este camino, que aunque no fue fácil, comprendí que solo los valientes aceptan los cambios y siguen adelante.

A mi hijo Rafael, mi razón de ser, mi motor de vida; quien me enseñó a nunca rendirme pese a todo estar en contra. Gracias por alegrarme cada día e inspirarme a ser mejor.

A mis padres Ángel Criollo y Teresa Vásquez que por todo su amor y sacrificio, pude llegar a mi meta, ustedes me enseñaron todo lo que sé. Gracias por todo el apoyo y paciencia infinita.

A mi hermano Miguel Ángel porque que el aprendiz siempre superará al maestro.

A mi esposo Max por su apoyo desde el primer momento.

A mis amigos y demás familiares, que han estado siempre pendientes y apoyándome, gracias, por cada una de las frases alentadoras que me han dedicado.

AGRADECIMIENTOS

A todo el cuerpo de docentes que conforman la Escuela de Minas de la Universidad del Azuay, que han contribuido en todo que se ha logrado hasta ahora. Especialmente a:

A mi director de tesis el ingeniero Patricio Feijoo por todo el tiempo invertido, por su confianza y compromiso que me ha brindado, gracias por su siempre disposición a ayudar a todos los que anhelamos culminar nuestra carrera universitaria.

A los ingenieros Gil Álvarez, Fernando Valencia y Juanito Calderón que durante estos años me han brindado su amistad, apoyo y guía; hemos compartido historias, consejos y sueños, que sin duda me han sido de mucha ayuda.

A Gaby, Karla, Adri, Doris, Vale, Andres, Chris y Cris que han sido mis compañeros de esta aventura.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I : MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 La madera	3
1.2 Tipos de maderas que se usan en la fortificación	4
1.2.1 Palo Rosa.....	4
1.2.2 Pino.....	4
1.2.3 Guayacán.....	4
1.2.4 Eucalipto.....	4
1.3 Estructura de la madera.....	6
1.3.1 Albura.....	6
1.3.2 Duramen.....	6
1.3.3 Cámbium.....	7
1.3.4 Núcleo o Médula.....	7
1.3.5 Corteza exterior.....	7

1.4 Estructura anatómica de la madera.	7
1.5 Estructura macroscópica de la madera.	8
1.5.1 Anillos de crecimiento.	8
1.5.2 Radios medulares.	8
1.5.3 Parénquima longitudinal.	9
1.6 Estructura microscópica de la madera	9
1.6.1 Latifoliadas.	10
1.6.2. Coníferas	11
1.7 Estructura submicroscópica de la madera.	12
1.7.1 Lámina media.	12
1.7.2 Pared primaria.	12
1.7.3 Pared secundaria.	13
1.8 Propiedades de la Madera	13
1.8.1 Densidad.	13
1.8.2 Dureza.	13
1.8.3 Durabilidad.	14
1.8.4 Flexibilidad.	14
1.8.5 Estabilidad.	14
1.8.6 Anisotropía.	15
1.8.7 Higroscopicidad.	15
1.8.9 Biodegradable.	15
1.9 Características físicas de la madera	16
1.9.1 Contenido de humedad.	16
1.10 Agentes que afectan la madera	16
1.10.1 Agua.	16
1.10.2 Agentes atmosféricos.	16
1.10.3 Agentes Xilófagos.	17

1.10.4 Fuego.....	18
1.10.5 Temperatura.	19
1.11 Propiedades mecánicas.	19
1.11.1 Resistencia de la madera.	19
1.11.2 Resistencia a la tensión.	19
1.11.3 Resistencia al cortante.....	20
1.11.4 Resistencia a la flexión.....	20
1.11.5 Resistencia a la compresión perpendicular.	21
1.11.6 Resistencia a la compresión paralela.....	21
1.11.7 Influencia del contenido de Humedad sobre la resistencia.	22
1.12 Tratamiento de la madera.....	24
1.12.1 Preservantes de la madera.	25
1.12.2 Clasificación de los Preservantes.	25
1.12.3 Métodos de tratamiento de la madera	28
CAPITULO II : MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1 Proceso de tratamiento de las probetas.	32
2.2. Equipo de trabajo	33
2.2.1 Máquinas de corte.	34
2.2.2 Medidor de humedad.....	35
2.2.3 Autoclave.	35
2.2.4 Máquina de Ensayo.	36
2.2.5 Microscopio Óptico.....	37
2.2.6 Preservantes a utilizar.....	37
2.3 Metodología	39

2.3.2 Tamaño de la muestra.	39
2.3.3 Selección de trozas.	39
2.3.4 Aserrado de las probetas.	40
2.3.5 Número de probetas por ensayo.	42
2.3.6 Identificación de variables.	42
2.3.7 Medición de probetas.	43
2.3.8 Medición de humedad.	43
2.3.9 Pesaje de muestras.	44
2.3.10 Preparación de preservante.	44
2.3.11 Medición de pH.	45
2.3.12 Inmersión de las probetas.	46
2.3.13 Pincelado de las probetas.	47
2.3.14 Autoclavado de probetas.	48
2.3.15 Secado de muestra.	49
2.3.16 Aplicación de brea.	50
2.3.17 Inmersión de las probetas con brea en agua.	51
2.3.18 Corte longitudinal y transversal de probetas para microscopio.	51
2.3.19 Realización de ensayos de compresión de todas las probetas.	52
2.3.20 Determinación de la penetración por observación.	53
2.3.21 Determinación de la penetración por medio de Microscopio óptico.	53
CAPITULO III: RESULTADOS Y ANALISIS	54
3.1 Tablas de resultados	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79

ANEXOS 81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de la madera.	3
Figura 1.2 Árboles de Eucalipto Globulus.	5
Figura 1.3 Estructura Anatómica de las maderas Latifoliadas.	10
Figura 1.4 Estructura anatómica de las maderas Coníferas.	11
Figura 1.5 Anisotropía de la madera.	15
Figura 1.6 Relación entre la resistencia a la tensión y la densidad relativa.	20
Figura 1.7 Ruptura por resistencia al cortante.	20
Figura 1.8 Probeta sometida a flexión.	21
Figura 1.9 Curva de variación de la resistencia de la madera en presencia de humedad.	22
Figura 1.10 Expresión de tipo exponencial de correlación entre la humedad y la resistencia.	22
Figura 1.11 Relación entre la resistencia a la compresión de la madera y el ángulo de la fibra.	23
Figura 1.12 Relación entre la resistencia a la compresión de la madera y la densidad relativa a diferentes contenidos de humedad.	23
Figura 1.13 Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de humedad para varias especies.	24
Figura 1.14 Efecto de la humedad en la resistencia la compresión de la madera.	24
Figura 2.1 Diagrama del proceso de tratamiento de probetas.	28
Figura 2.2 Sierra de mesa usada para realizar el corte longitudinal de las probeta.	34
Figura 2.3 Sierra Ingletadora utilizada para realizar el corte transversal de la madera. .	34
Figura 2.4 Hidrómetro Extech utilizado para determinar la humedad de la madera.	35
Figura 2.5 Autoclave utilizado en todos los procesos de presión.	35
Figura 2.6 Máquina de compresión Matest S.p.A. Treviolo, utilizada para realizar las pruebas de compresión de la madera.	36
Figura 2.7 Panel de la máquina de compresión Matest S.p.A. Treviolo.	36
Figura 2.8 Microscopio Óptico.	37
Figura 2.9 Sulfato de cobre.	38
Figura 2.10 Dicromato de Sodio.	38
Figura 2.11 Ácido Bórico.	39

Figura 2.12 Dimensión lateral de la probeta de madera para compresión.	40
Figura 2.13 Dimensión longitudinal de la probeta de madera para compresión.	40
Figura 2.14 Dimensión lateral de la probeta de madera para microscopio.	41
Figura 2.15 Dimensión longitudinal de la probeta de madera para microscopio.	41
Figura 2.16 Medición de Humedad con Hidrómetro.....	43
Figura 2.17 Pesaje de Probetas.	44
Figura 2.18 Preparación del preservante.	45
Figura 2.19 Medición del pH.....	45
Figura 2.20 Tabla comparativa de pH.	46
Figura 2.21 Inmersión de las probetas en preservante.....	47
Figura 2.22 Pincelado de probetas.....	48
Figura 2.23 Probetas en Autoclave.....	49
Figura 2.24 Secado de probetas.....	49
Figura 2.25 Impermeabilización de la madera con brea.....	50
Figura 2.26 Secado de madera con brea.	50
Figura 2.27 Inmersión de probetas con brea en agua.	51
Figura 2.28 Corte de probetas.....	51
Figura 2.29 Prueba de compresión uniaxial.	52
Figura 2.30 Probetas probadas.	52
Figura 2.30 Penetración del preservante.....	44
Figura 2.31 Observación de la penetración del preservante.....	53
Figura 3.28 Resistencia máxima de probetas con pinceladas.....	69
Figura 3.29 Comparación de resistencias de probetas con 1, 2, 3 y 4 pinceladas.	69
Figura 3.30 Comparación de resistencias de todas las probetas en inmersión.	70
Figura 3.31 Comparación de resistencias de probetas en 2, 4, 6, y 8 semanas en inmersión.....	70
Figura 3.32 Comparación de resistencias de todas las probetas en autoclave.....	71
Figura 3.33 Comparación de resistencias de probetas 0.5, 1, 1.5 y 2 horas en autoclave.	72
Figura 3.34 Comparación de resistencias entre los procesos de pincelado, inmersión y autoclave.....	73
Figura 3.35 Comparación de las resistencias de los procesos de inmersión, compresión, autoclave, sin tratamiento y con brea.	73
Figura 3.36 Penetración del preservante con el método de pinceladas.	74

Figura 3.37 Penetración del preservante con el método de inmersión. 74

Figura 3.38 Penetración del preservante con el método de autoclave. 75

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resistencias del Eucalipto Globulus	5
Tabla 2.2 Estructura microscópica de la madera	12
Tabla 3.1 Identificación de variables	42
Tabla 3.2 Detalle del proceso del método de inmersión.....	46
Tabla 3.3 Detalle del proceso del método de pincelado	47
Tabla 3.4 Detalle del proceso del método de autoclave	48

INDICE DE ANEXOS

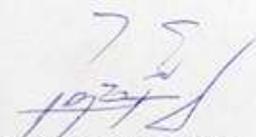
Anexo 1 Corte transversal y longitudinal de probeta sin tratamiento.	82
Anexo 2 Corte longitudinal y transversal de la probeta con pinceladas.	83
Anexo 3 Corte trasversal y longitudinal de las probetas en inmersión inmersión.	84
Anexo 4 Corte transversal y longitudinal de las probetas en autoclave.	85
Anexo 5 Acumulación de preservante.	86

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA MADERA A UTILIZAR EN FORTIFICACIONES INTERIOR MINA.

RESUMEN

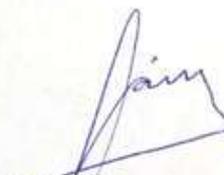
En el presente trabajo se plantea que mediante el uso de preservantes y técnicas de impregnación, aumente la resistencia a la compresión de la madera, y además disminuya la velocidad del deterioro en presencia de xenófilos. Por medio de probetas estandarizadas, se probaron 3 tipos de impregnación en un solo tipo de madera, con los mismos agentes de preservación e impermeabilización. Con el fin de determinar el más efectivo, se recurrió a la prueba de resistencia a la compresión uniaxial que identificó si los procesos de impregnación modificaron la estructura interna de la madera, y de qué manera lo hicieron.

Palabras claves: preservantes, impregnación, madera, resistencia a la compresión e impermeabilización.



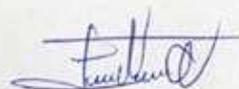
Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director de Trabajo de Titulación



Jaime Alfonso Ampuero Franco

Coordinador de Escuela



Evelyn Noemi Criollo Vásquez

Autora

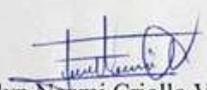
ABSTRACT**IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF WOOD TO BE USED FOR INTERIOR MINE FORTIFICATIONS.****ABSTRACT**

This work proposed the increase in wood compressive strength through the use of preservatives and impregnation techniques, as well as the reduction of the deterioration speed in the presence of xenophiles. By means of standardized specimens, 3 types of impregnation were tested in a single type of wood, using the same agents of preservation and waterproofing. In order to determine the most effective, the uniaxial compression strength test was used to identify whether the impregnation processes modified the internal structure of the wood, and how this was done.

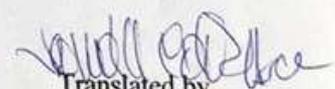
Keywords: preservatives, impregnation, wood, compression and waterproofing resistance.


Ernesto Patricio Feijoo Calle
Thesis Director


Jaime Alfonso Ampuero Franco
School Director


Evelyn Noemi Criollo Vásquez
Author


Margarita Astengo
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Evelyn Noemi Criollo Vásquez

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Noviembre 2017

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA MADERA A UTILIZAR EN FORTIFICACIONES INTERIOR MINA.

INTRODUCCIÓN

La madera ha sido usada desde hace muchos años en la minería, especialmente para las fortificaciones interior mina. Se conoce que para mejorar su calidad y evitar su degradación ha sido tratada con mecanismos rudimentarios, como por ejemplo la inmersión en sal, aceites, carbonización o aplicación de resinas, gomas látex o alquitranes, pero estos procesos no han sido efectivos para ambientes nocivos, como los que se dan en subterráneo, por lo que se necesitan procesos de impregnación efectivos y adecuados que perduren a pesar de la presencia de agentes destructores.

La madera siempre ha sido usada dentro de la minería especialmente para fortificación de túneles, ya que es fácil de conseguir, su costo es bajo, su colocación es rápida, sin embargo la madera al ser un elemento orgánico es sucesible a la descomposición por la acción de agentes xenófilos. Lo que conlleva un peligro ya que la madera al disminuir su resistencia tienen a fallar, en consecuencia el colapso del túnel, si se cambia los ademes dañados a tiempo también significa un costo para el ambiente, pero si pudiéramos mantener esos ademes en buenas condiciones y evitar cambiarlos cada cierto tiempo habría un ahorro de dinero, tiempo y ambiental.

El entibado con madera nos arroja un costo moderado y asequible para la empresa, además su empleo es rápido y fácil. Pero cada cierto tiempo se debe reemplazar las piezas de madera afectadas por los agentes destructores propios del ambiente subterráneo, lo que representa un costo adicional, sin mencionar una afección ambiental. Por otro lado las nuevas formas de fortificación de túneles son efectivas

pero muy costosas, se necesita una planificación previa de las dimensiones del mismo por lo que las empresas de pequeña minería no optan por estos al no tener precisión de las dimensiones o dirección de la veta.

Esta tesis se realizará con el fin de encontrar la manera de aumentar la calidad de los ademes de madera, sin afectar al ambiente, ni la salud del personal así como tampoco a los procedimientos realizados dentro de la mina, de forma que se prolongue la vida útil de la madera para así reemplazarla o cambiarla en mayores espacios de tiempo. Con este proyecto se determinará por medio de qué proceso se puede adquirir el máximo nivel de impregnación, a qué velocidad, en que tiempo, cuando se demora en secarse, cual ofrece mayores beneficios, como afecta el método de impregnación a su estructura interna y como prolongar la vida de los ademes.

La madera que se usa en el entibado por lo general se obtiene del sector o en su defecto en aserraderos seranos. En el Azuay el Eucalipto se encuentra presente en un gran porcentaje, y su costo es más bajo que el de otras maderas, los que no se encuentra muy a menudo. Sin embargo el Eucalipto presenta una resistencia media, lo que se ve afectado cuando los agente xenófilos actúan sobre él, ya que su madera cambium y albura son fácilmente penetrables y así disminuyen su área y en consecuencia su resistencia.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 La madera

La madera es un material biológico de origen vegetal y composición química muy compleja, formada anatómicamente por la corteza, cambium, albura, duramen y médula. Esta compleja organización estructural hace de la madera un material anisótropo con propiedades diferentes en sus tres planos normales de corte: (transversal, radial y tangencial) que lo convierten en un elemento particular y con propiedades diferentes a otros materiales tradicionalmente empleados en la construcción.

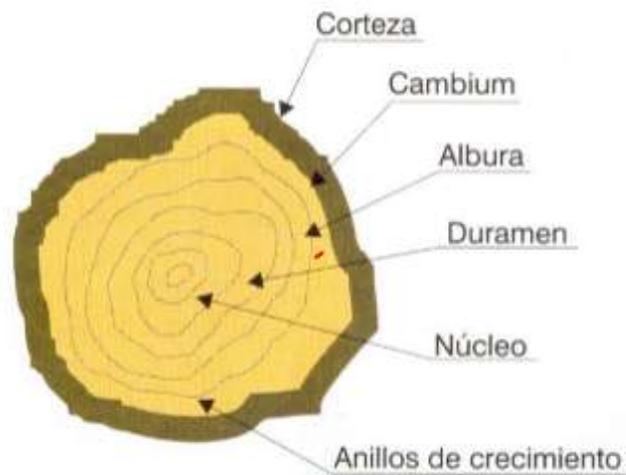


Figura 1.1 Estructura de la madera.

Fuente: (Pérez, 2014)

1.2 Tipos de maderas que se usan en la fortificación

1.2.1 Palo Rosa (*Swartzia fistuloides* Harms).

Resistente, dura y pesada, resistencia media-alta al choque, elasticidad baja, buena estabilidad en servicio, resistencia excelente al decaimiento con el paso del tiempo. Valorada como especie comercial de madera dura usada para la fabricación de muebles o del chapeado.

1.2.2 Pino (*Pinus Patula*).

Especie de la familia Pinaceae, su tronco es recto y cilíndrico, llegan a medir entre 20 a 40 metros mientras que su diámetro de 40 a 150 cm, su crecimiento en altura culmina a los 25 años aproximadamente. Es susceptible al ataque de hongos y xilófagos

1.2.3 Guayacán (*Tabebuia chrysantha* Nicholson).

Especie de la familia Bignoniaceae, posee un tronco mediano de 12 a 22 m de altura se encuentra desde el sur de Esmeraldas, Manabí, Guayas y el Oro. Su crecimiento es lento de 20 a 30 años, es susceptible de ramoneo y a daños ocasionados por roedores, es una de las maderas más pesadas, de muy buena calidad y alto costo. Es muy durable y resistente a las termitas y al agua salada, por lo que es difícil de trabajar. (Vinueza, Ecuador Forestal, 2012)

1.2.4 Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*).

Especie de la familia Myrtaceae, de tronco recto y cilíndrico; de color amarillo pálido y vetado poco diferenciado, alcanzan alturas entre los 45 y 70 m Según la literatura la durabilidad del duramen es superior al de la albura, además es adecuado para el cepillado, taladrado y enclavado. Para fuerzas de flexión, compresión y tracción es

muy resistente, pero necesita cuidado en el pulido. Crecen en diámetro como en altura durante los primeros dos años después de eso solo la copa crece en diámetro. Su tiempo de crecimiento es entre 13 a 15 años. Puede ser afectado por xilófagos y hongos aunque resiste ante las termitas y perforadores marinos además es resistente al fuego. (Vinueza, Ecuador Forestal, 2013)



Figura 1.2 Árboles de Eucalipto Globulus.

Fuente: (Vinueza, Ecuador Forestal, 2012)

Según el MAE, Ministerio del Ambiente del Ecuador, el Eucalipto es la madera que más volumen controlado de productos forestales se tiene en el Ecuador. Esto nos dice que es ampliamente usado dentro las actividades de construcción. Además de su rápido crecimiento y su buena resistencia; se obtiene eucalipto a un precio cómodo para el consumidor. Por esta razón se toma en cuenta al Eucalipto como la madera de uso más común para fortificación en túneles en Azuay. (Vinueza, Ecuador Forestal, 2012) En la siguiente tabla podemos observar las propiedades físicas y mecánicas del Eucalipto Globulusl

Tabla 1.1 Resistencias del Eucalipto Globulus.

Densidad	(cm^3)	0.55g	Unidades SI (MPa)
Contracción	(%)	5	
	(%)	11	
	Esfuerzo medio (Kg/cm^2)	873.06	85,61 MPa

Flexión	Módulo de elasticidad Medio (Kg/cm^2)	133444.89	13086,47 MPa
	Esfuerzo Mínimo (Kg/cm^2)	633.77	62.0761 MPa
	Módulo de elasticidad Mínimo (Kg/cm^2)	93510.04	9170.202 MPa

Fuente: (Vinueza, Ecuador Forestal, 2012)

1.3 Estructura de la madera

Para la observación estructural ayuda a la identificación de la especie y a comprender las características, propiedades y el porqué de este trabajo, Consta de:

1.3.1 Albura.

Constituye la parte joven y externa del árbol esta varía dependiendo de la especie de árbol, son porosas y delgadas, aquí se encuentra la mayor parte de la savia. Se clasifican en coníferas y latifoliadas. (Aguilar & Guzowski, Madera, 2011)

1.3.2 Duramen.

Constituye la parte central del árbol, es muy duro y consistente. Cumple la función de sostén, cuando el mismo envejece el duramen deja de llevar nutrientes, y se convierte en el elemento estructural y de sostén más importante del árbol. (Piqué, 1984)

1.3.3 Cámbium.

Es el tejido entre la corteza interior y la madera, logra el crecimiento diametral del tronco; originando los anillos de crecimiento; sus células activas se dividen formando el xilema y floema, posee esta capacidad hasta que el árbol muere. (Garrido, 2010)

1.3.4 Núcleo o Médula.

Es de dimensiones pequeñas y por lo general tiene poca resistencia ya que está constituido por tejido poroso. (Vaca, 1998)

Ocupa la parte central vertical del tronco. Es el eje del árbol. Suele morir al formarse el duramen y sirve de alimento a la plantita al principio de su vida. (Garrido, 2010)

1.3.5 Corteza exterior.

Es la corteza propiamente dicha. Está constituida por células muertas. Es una capa celulósica externa que se renueva constantemente.

Sirve de protección para el árbol contra ataque fúngicos, desecamiento y del fuego. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.3.6 Corteza interior.

Esta capa conduce el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas y raíces, está constituido por el floema. (Vaca, 1998)

1.4 Estructura anatómica de la madera.

La parte maderable del árbol tiene la función de llevar agua, almacenar sustancias y resistencia mecánica para lo cual se reconocen tres tipos de tejidos: tejido vascular, tejido parenquimático y tejido fibroso respectivamente.

Dependiendo del grado visual de los tejidos, la anatomía de la madera se divide en tres niveles: macroscópico, microscópico y submicroscópico. (Piqué, 1984)

1.5 Estructura macroscópica de la madera.

Se considera las características de los diferentes tejidos de madera, se observa a simple vista o con un lente de 10 aumentos. (Garrido, 2010)

1.5.1 Anillos de crecimiento.

Son capas que indican el crecimiento del árbol, crecen desde el extremo inferior del árbol hasta la copa y tienen forma de circunferencia, indican las estaciones o las sequías debido a que cuando no hay agua el cambium produce células largas para la conducción del agua y cuando si hay presencia de agua el cambium produce celular pequeñas de paredes engrosadas y lumen pequeño. Si los anillos son poco visibles y su dureza es regular, se dice que la especie es homogénea. Si por el contrario existe gran diferencia de dureza entre los anillos de primavera y verano, se dice que es heterogénea. (Bierling, 1994)

1.5.2 Radios medulares.

Son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo la dirección de los radios del círculo definido por el tronco, está formado por celular parenquimáticas, es por ello que son líneas débiles y con el secado se puede producir grietas. Son observables atravesando varios anillos cuando los vemos en su sección transversal. En su sección radial aparecen como pequeños rectángulos y tangencialmente tienen aspecto de líneas cortas dispuestas verticalmente o con forma de husos. (Garrido, 2010)

1.5.3 Parénquima longitudinal.

Forma es sistema longitudinal del tronco, si disposición depende de la especie, las maderas con un mayor porcentaje de tejido parenquimático son maderas de baja resistencia. (Piqué, 1984)

1.6 Estructura microscópica de la madera

Se considera los diferentes tipos y características de las células de la madera. La madera se compone de entre el 45 – 50% de celulosa, que es un polisacárido que forma las paredes de la célula de la madera, de 20 al 25% de lignina que es la sustancia cementante de la madera y de 5 % de pectina que es un material gelatinoso y feculento que une las paredes de las células y es muy susceptible a la hinchazón y a la contracción al contacto con el agua y el 20% restante a otros materiales. (Cemal, 1982)

Y se dividen en:

1.6.1 Latifoliadas.

Su estructura anatómica es heterogénea constituida por células leñosas que forman del hasta el 50% del volumen total de la madera. El otro 50% de la madera son fibras adaptadas a la función mecánica. (Piqué, 1984)

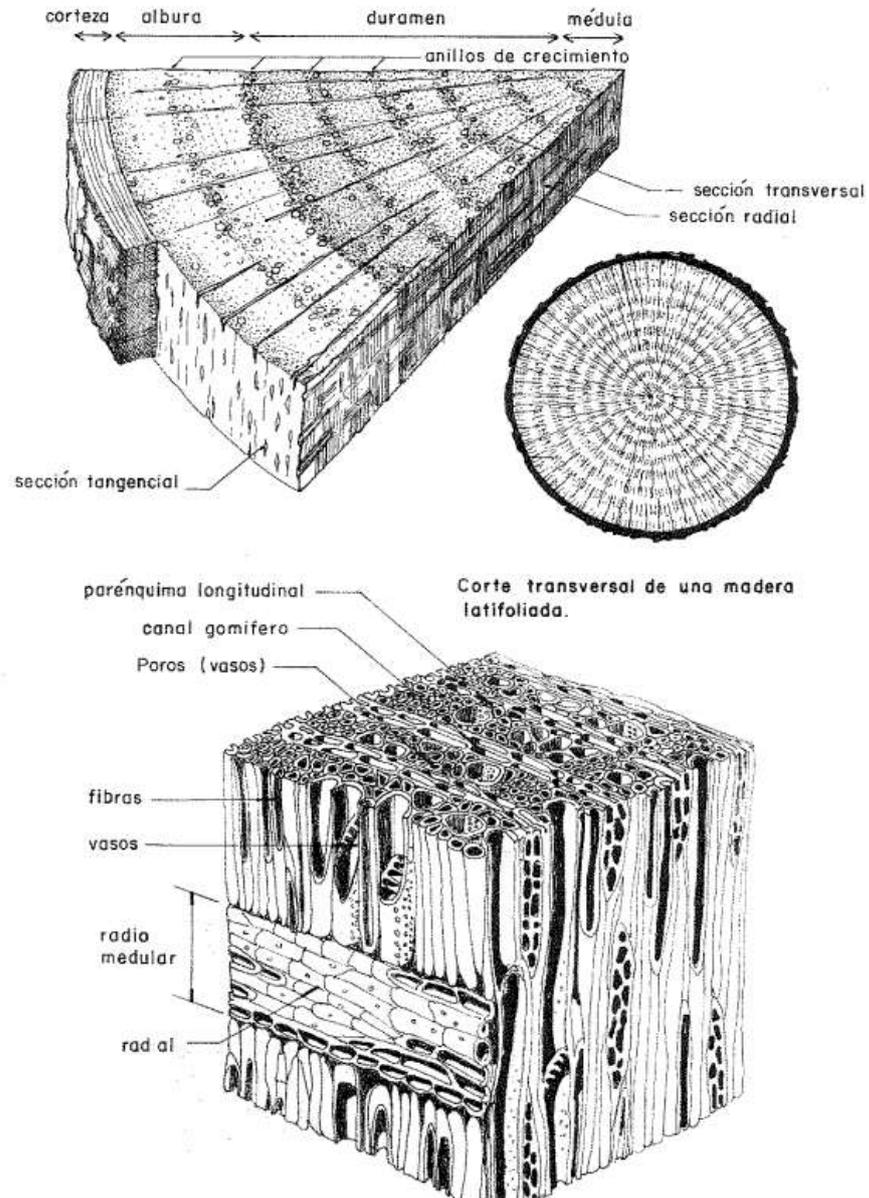


Figura 1.3 Estructura Anatómica de las maderas Latifoliadas.

Fuente: (Piqué, 1984)

1.6.2. Coníferas

Su estructura es homogénea y está constituido por elementos leñosos llamados traqueidas, que forman el 80 % o 90% del volumen total de la madera. Cumplen con la función de resistencia y conducción. Presentan células de parénquimas en menor proporción. (Piqué, 1984)

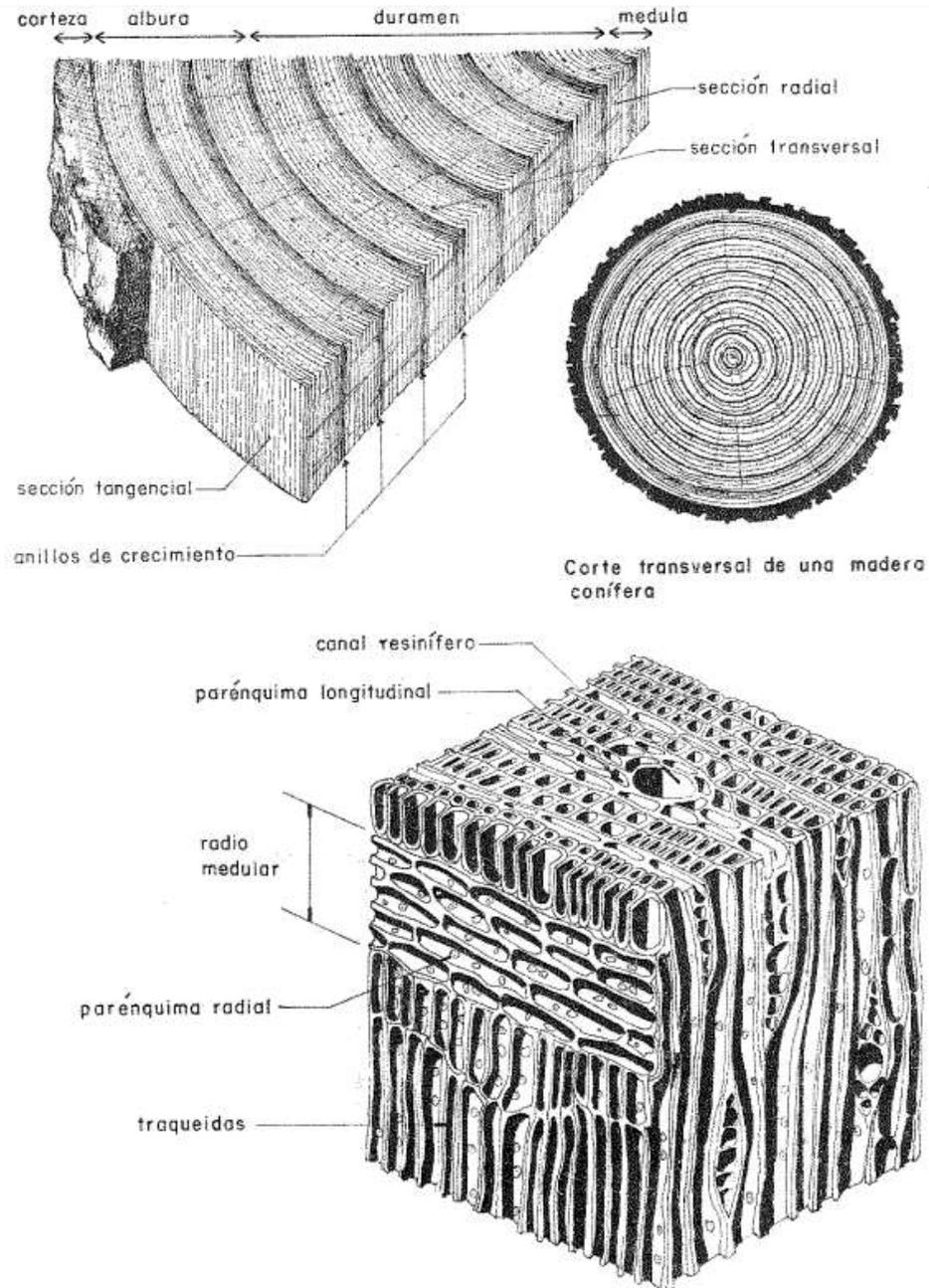


Figura 1.4 Estructura anatómica de las maderas Coníferas.

Fuente: (Piqué, 1984)

Tabla 1.2 Estructura microscópica de la madera

Sistema	Elementos	Latifoliadas	Coníferas
Longitudinal	Prosequimáticos	Vasos fibras	Traqueídas
	Parenquimáticos	Parénquima Longitudinal	Parénquima Longitudinal
Transversal	Prosequimáticos	-	Traqueídas
	Parenquimáticos	Parénquima Radial	Parénquima Radial

Fuente: (Piqué, 1984)

1.7 Estructura submicroscópica de la madera

Las células forman hacia fuera la corteza cuyas partes externas se quiebran durante el crecimiento del árbol y se caen. Las células que se forman hacia el interior son células de madera. La formación de madera se da desde afuera hacia adentro, es decir que la madera más añosa está en el centro del tronco y la más joven por debajo de la corteza. (Aguilar & Guzowski, Madera, 2011)

1.7.1 Lámina media.

Una célula adyacente y está compuesta por lignina (60% a 90%) y pectina. (Piqué, 1984)

1.7.2 Pared primaria.

Es la capa exterior de la célula se compone de lo mismo que la lámina media, solo que además contiene celulosa en forma de fibrillas. (Piqué, 1984)

1.7.3 Pared secundaria.

Contiene aproximadamente el 94% de celulosa, está formada por tres capas que se distinguen por la orientación. (Piqué, 1984)

1.8 Propiedades de la Madera

Las propiedades de la madera varían dependiendo de cada especie, del desarrollo del árbol y la sección de la cual se extrajo por estos factores cada una se comporta de diferente manera.

1.8.1 Densidad.

Es la relación que existe entre la masa y el volumen, está dada por la variación de la humedad y se clasifican en pesadas, ligeras y muy ligeras según su densidad aparente. La madera recién cortada tiene humedades que van desde 50% a 60%, que se reduce considerablemente durante el secado. (Vaca, 1998)

1.8.2 Dureza.

Es la resistencia al rayado, clavado, corte, etc., depende de cada especie arbórea, la madera del duramen es más dura que la madera de la albura y también es más dura si esta verde o seca.

Según Cianciarulo & Llambías (2013) se clasifican en: Maderas duras: son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, de hoja caduca, por lo que son más densas. Maderas blandas: las maderas de coníferas son más livianas y menos densas que las duras. Maderas semiduras: Muchas maderas no se las puede clasificar en las categorías anteriores por tener una densidad y resistencia variadas. Algunas maderas de especies duras o blandas presentan mayor o menor resistencia y características que las hacen más fácil o difícil de trabajar, por lo que la clasificación es en la práctica

referida a la facilidad o dificultad que en general presentan las maderas para el trabajo con herramientas. (pág.8)

1.8.3 Durabilidad.

La resistencia de la madera ante los deterioros biológicos depende principalmente al tipo de madera ya que algunas pueden ser dañadas muy rápidamente por agentes de deterioro y otra resistir muchos años. Los xilófagos marinos causan daños muy severos a la madera además de encontrarse en agua de mar. (INEN, 2015)

1.8.4 Flexibilidad.

La madera posee una virtud frente al hormigón ya que puede deformarse o doblarse sin romperse y regresar a su forma inicial. Esto quiere decir que antes de fallar la madera mostrará grietas y torsiones, las maderas verdes tienen mayor flexibilidad que las maderas secas. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.8.5 Estabilidad.

La estabilidad de la madera depende de muchos factores como la humedad del ambiente, densidad escuadría de las piezas, orientación de las fibras y sección de anillos. Al secarse la madera se contraerá en mayor o menor grado, lo que la hará deformarse curvándose y rajándose. Para evitar estas deformaciones se debe proteger del sol, airear la madera, mantener bajos los niveles de calor y humedad. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.8.6 Anisotropía.

Al no ser un material homogéneo la madera difiere en tres direcciones: axial, es paralela a la dirección de crecimiento del árbol; radiales perpendicular a la axial y corta al eje del árbol; y tangencial se refiere a una dirección paralela a la radial que corta los anillos anuales. Véase en la figura 2.5. (Pérez, 2014)

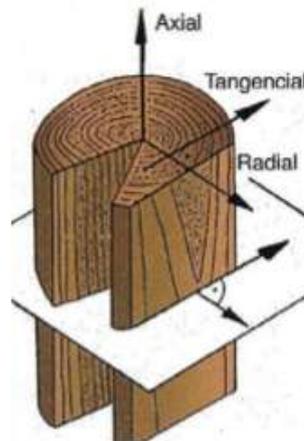


Figura 1.5 Anisotropía de la madera.

Fuente: (Pérez, 2014)

1.8.7 Higroscopicidad.

La madera tiene la capacidad de absorber la humedad que se encuentra en el medio ambiente, lo que produce hinchazón en la misma. Esto depende del tipo de madera y su punto de saturación al exceso de agua. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.8.9 Biodegradable.

La madera es biodegradable, es decir se pudre al ser afectada por hongos, insectos y bacterias. Al ser de origen natural su descomposición no produce afecciones al ambiente.

1.9 Características físicas de la madera

1.9.1 Contenido de humedad.

La madera contiene agua en tres formas: agua libre que se encuentra llenando las cavidades celulares; agua higroscópica de halla contenida en las paredes celulares; y agua de constitución se encuentra formando parte de la estructura molecular. En este mismo orden la madera pierde agua cuando empieza su secado.

Dependiendo de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, cuando ha perdido el agua libre; seco cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica; y anhidro cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

1.10 Agentes que afectan la madera

1.10.1 Agua.

El agua constituye el 25 % de la madera, un árbol recién cortado contiene del 35 al 50% de agua. En condiciones normales el contenido de agua es cerca del 20%, por debajo de esta cantidad se considera seca; mientras que la que tenga más del 30% se considera húmeda. (Cemal, 1982)

1.10.2 Agentes atmosféricos.

Los principales destructores de la madera son: el sol, que a través de los rayos ultravioletas e infrarrojos penetra en la madera haciendo que se pierda la cohesión entre las fibras, dañando la lignina, que termina provocando la aparición de grietas y a pesar de su flexibilidad se termina rompiendo. La lluvia por su parte ingresa en las grietas de la madera y la humedece lo suficiente para la aparición de hongos. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.10.3 Agentes Xilófagos.

Estos agentes pertenecen al reino animal (insectos xilófagos y xilófagos marinos) y al reino vegetal (hongos xilófagos) que germinan cuando las maderas tienen un contenido de humedad mayor al 20% y estos a su vez se alimentan de los componentes de la madera. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.10.3.1 Hongos Xilófagos.

Los hongos que aparecen en la madera son los mohos, los hongos cromógenos y los hongos de pudrición que llegan a la madera por medio del viento, el agua o animales. Para que un hongo germine la madera debe tener una humedad mayor al 22%, estos se alimentan de las sustancias de reserva al interior y finalmente forma cuerpos de fructificación que son visibles.

Los mohos solo se alimentan de los materiales almacenados al interior de las células de la madera y no de las paredes celulares, por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera. Se presenta en forma de pelusas transparentes, blancas o hasta negras. (Cemal, 1982) (Cianciarulo & Llambías, 2013)

Los hongos cromógenos se alimentan de la misma manera que los mohos, sin afectar las paredes celulares. Su diferencia radica en la decoloración que produce sobre la madera resultando colores como verde, azulado y rojo.

Los hongos de pudrición si afectan las paredes celulares, la pudrición inicial se da al interior por lo que no puede ser detectada al inicio, al avanzar producen decoloraciones de la madera como rojizo, parda o clara, empieza a perder peso y ganar humedad. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.10.3.2 Insectos xilófagos.

Los insectos por separado no causan problemas, pero su capacidad de reproducción es muy alta y es ahí cuando causan problemas. Por su ciclo biológico se pueden clasificar en larvarios y sociales. Los larvarios se caracterizan por la metamorfosis que sufren (huevo, pupa e imago) durante esta etapa se produce la degradación de la madera para

satisfacer sus necesidades alimenticias. Los sociales se caracterizan por constituir colonias donde cada miembro desempeña una función para su desarrollo, los obreros de la colonia descomponen la celulosa de la madera con flagelos multiciliados del su tubo digestivo, que la transforman en azúcares asimilables. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.10.3.3 Xilófagos marinos.

Se componen de dos grupos los crustáceos, su destrucción puede verse exteriormente, en el nivel medio de las mareas y la de la baja mar, dando a la madera la apariencia de “reloj de arena”; y los moluscos, se desarrollan en agua que tenga por lo menos el 10% de salinidad, viven en el interior de la madera y nunca la abandonan. Destruyen astilleros, embarcaciones, muelles y otras estructuras fijas y flotantes que se han construido sobre el mar. (Vaca, 1998)

1.10.4 Fuego.

Depende la temperatura, presión, tiempo y condiciones ambientales; al estar formada por carbono (material combustible) es susceptible a ser degradada por fuego, que se produce paulatinamente provocando su destrucción total. Aunque ningún material es a prueba de fuego, la estructuras metálicas se dilatan y tuercen rápidamente en un incendio, el hormigón armado se resquebraja con el calor y más aún cuando se enfría con el agua de las mangueras, mientras que la madera debido a su baja conductividad térmica hace que la temperatura baje en su interior, la carbonización superficial impide la salida de gases y la penetración del calor y además la dilatación térmica es tan pequeña que no afecta a la estructuras o las deforma. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

1.10.5 Temperatura.

Las fluctuaciones de temperatura y humedad hacen que la madera se contraiga y se dilate provocando desgaste y como consecuencia la aparición de grietas y su posterior desfibramiento. (Pérez, 2014)

1.11 Propiedades mecánicas.

Estas características específicas de la madera pueden ser analizadas a través de las fibras paralelas y perpendiculares y varía según su humedad, densidad, dureza, etc.

1.11.1 Resistencia de la madera.

Dentro de las minas las maderas utilizadas en fortificaciones están sometidas a fuerzas de flexión, compresión, al flambeo y al cizallamiento.

1.11.2 Resistencia a la tensión.

La madera presenta una notable resistencia a la tensión, sobre todo si se compara con su densidad. La flexión de una pieza genera tensiones de compresión y de tracción paralelas a la fibra, alcanzando valores de 47.36 MPa según Birs Snyder y de 57.91 Mpa según Beer Johnston. La humedad hace decrecer la resistencia, según Cemal (1982) para un aumento desde el 10% el contenido de humedad hasta el punto de saturación, la resistencia de la tensión disminuye linealmente, además afirma que según el U.S. *Forest Products Laboratory* si hay un incremento del 1% en el contenido de humedad, se reduce la resistencia a la tensión a lo largo de la fibra en un casi 3%.

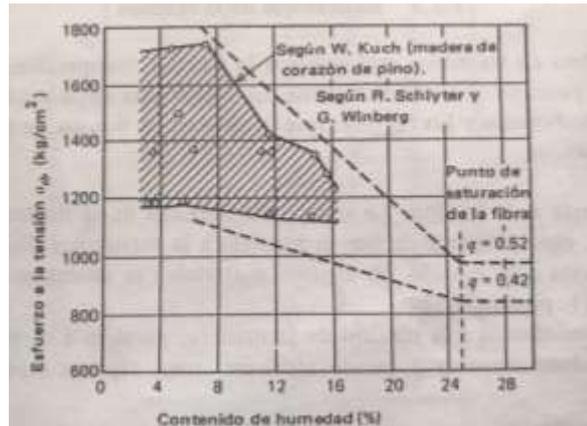


Figura 1.6 Relación entre la resistencia a la tensión y la densidad relativa.

Fuente: (Cemal, 1982)

1.11.3 Resistencia al cortante.

Es la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella. Este deslizamiento se debe producir en paralelo a las fibras; perpendicularmente a ellas no se produciría la rotura debido a que la resistencia en esta dirección es alta y la madera se rompe antes por otro efecto. (Pérez, 2014)

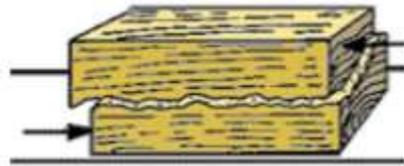


Figura 1.7 Ruptura por resistencia al cortante.

Fuente: (Pérez, 2014)

1.11.4 Resistencia a la flexión.

Sus fibras superiores se encuentran sometidas a compresión, mientras que las inferiores a tensión. El eje de neutro se encuentra cerca del lado de la tensión ya que la resistencia a la tensión es mucho más alta que la resistencia a la compresión. (Pérez, 2014)

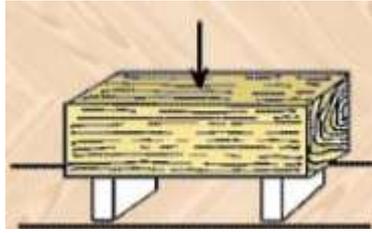


Figura 1.8 Probeta sometida a flexión.

Fuente: (Pérez, 2014)

1.11.5 Resistencia a la compresión perpendicular.

Las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje, lo que ocasiona se aplasten los pequeños cilindros o fibras con esto aumenta la densidad y también la misma capacidad para resistir mayor carga. (Piqué, 1984)

1.11.6 Resistencia a la compresión paralela.

La resistencia a la compresión desempeña tan solo el 50 % de la resistencia la tensión a lo largo de la misma fibra, esto puede explicarse por su estructura fibrosa. La resistencia a la compresión está relacionada con el ángulo de carga con la dirección de la fibra mientras el ángulo se acerque más a 0° su resistencia aumentará. El contenido de humedad de la madera es el factor más importante, ya que el agua que se deposita en las micelas, causa una reducción en las fuerzas intercelulares de tracción y, por lo tanto, en la cohesión. (Cemal, 1982)

La rotura de la madera a compresión no resulta clara ya que lo que se produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, pudiendo el material seguir aguantando solicitaciones. (Cemal, 1982)

1.11.7 Influencia del contenido de Humedad sobre la resistencia.

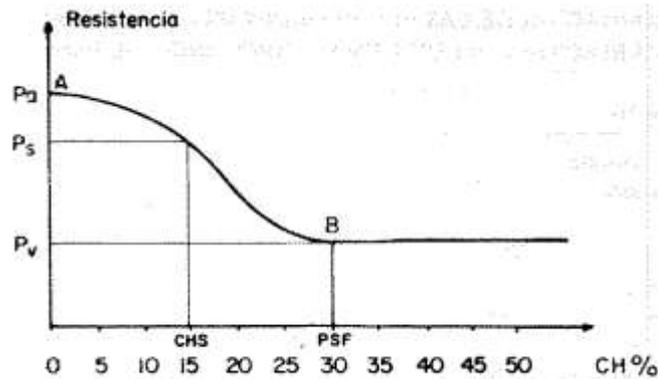


Figura 1.9 Curva de variación de la resistencia de la madera en presencia de humedad.

Fuente: (Piqué, 1984)

La figura nos muestra la variación de la resistencia con el contenido de humedad para probetas pequeñas libres de defectos. La madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, y que al llegar al punto de saturación de las fibras la resistencia permanecerá constante. La figura está dada por la siguiente expresión:

$$P = P_s \left(\frac{P_s}{P_v} \right)^{-k}$$

$$k = \frac{CH - CHS}{PSF - CHS}$$

Figura 1.10 Expresión de tipo exponencial de correlación entre la humedad y la resistencia.

Fuente: (Piqué, 1984)

En donde: CH = contenido de humedad

CHS = contenido de humedad en estado seco

PSF = punto de saturación de las fibras

P = valor de la propiedad a un CH dado

Ps = valor de la propiedad a un CHS

Pv = valor de la propiedad en estado verde

Según Cemal (1982), las investigaciones de Dixon y Hogan dicen que después de alcanzar el 20% de humedad la resistencia a la compresión baja de 500kg/cm^2 a cerca de 250kg/cm^2 , y se mantiene. Según Casado y Acuña (citado en Pérez, 2014), los valores característicos de resistencia a compresión se sitúan entre 18 y 25 MPa.

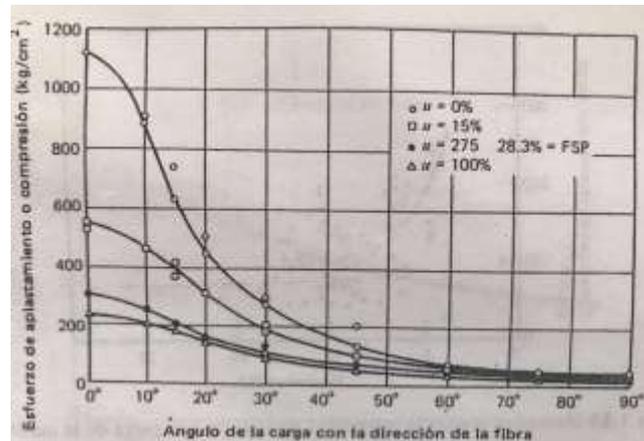


Figura 1.11 Relación entre la resistencia a la compresión de la madera y el ángulo de la fibra.

Fuente: (Cemal, 1982)

La humedad presente en la madera es el factor más importante en cuanto a compresión, ya que el agua se deposita entre las micelas reduciendo las fuerzas intercelulares de atracción y, por lo tanto, en la cohesión. (Cemal, 1982)

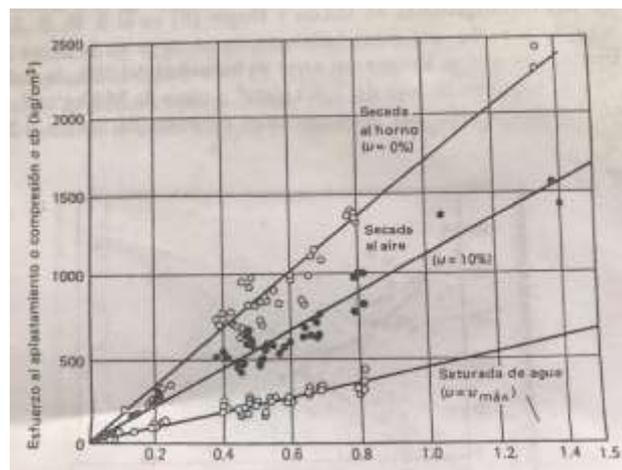


Figura 1.12 Relación entre la resistencia a la compresión de la madera y la densidad relativa a diferentes contenidos de humedad.

Fuente: (Cemal, 1982)

Al sobrepasar el 20% de humedad la resistencia ha disminuido casi a la mitad de la resistencia obtenida en condiciones secas y se mantienen.

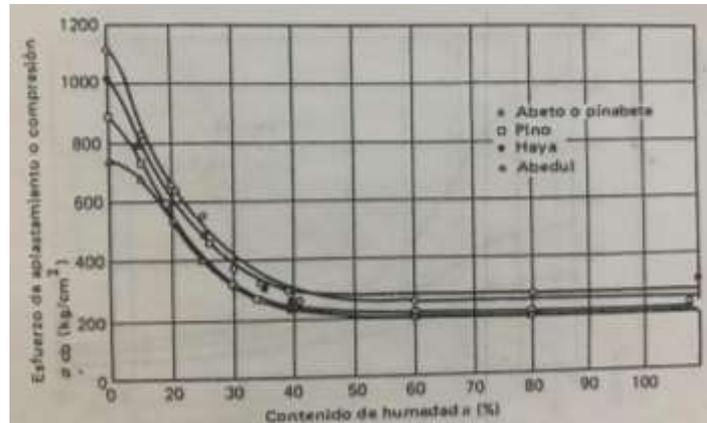


Figura 1.13 Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de humedad para varias especies.

Fuente: (Cemal, 1982)

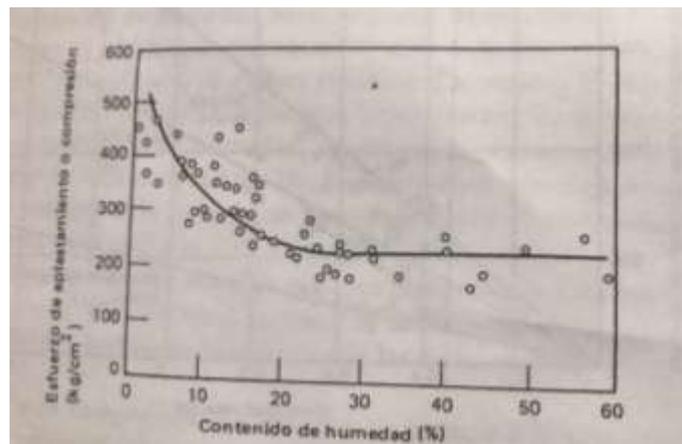


Figura 1.14 Efecto de la humedad en la resistencia a la compresión de la madera.

Fuente: (Cemal, 1982)

1.12 Tratamiento de la madera.

Al ser la madera un compuesto biológico, la hace susceptible al ataque de organismos destructores; para lo cual se propone la aplicación de preservantes que al ser aplicados correctamente y moderadamente protegen la madera. Los preservantes varían en su

naturaleza, costo y eficacia, pero todo esto depende del uso que se vaya a dar a la madera. (Vaca, 1998)

1.12.1 Preservantes de la madera.

Son sustancias químicas que al ser aplicadas en la madera le otorgan una mayor resistencia ante los agentes destructores. Debe tener resistencia a la evaporación y al lavado, como es el caso de la creosota y pentaclorofenol que se explicará en breve. (Erquicia, 2014)

Es importante que el producto aplicado no aumente la inflamabilidad de la madera, los preservantes hidrosolubles tienen menor riesgo de reacción con el fuego que los productos oleosolubles que están expuestos por la eliminación de su exudado; así como no deben ser tóxicos para animales o personas. No debe ser corrosivo para metales en caso de usarse en ella clavos, pernos, alambres o equipos. La toxicidad del preservante es fundamental ya que debe controlar o anular la actividad de los agentes biológicos. (Vaca, 1998)

1.12.2 Clasificación de los Preservantes.

1.12.2.1 Protectores naturales. - se obtienen del petróleo y la hulla, otorgan buena protección; aunque tiene un color negrozco que ocasiona manchas, tiene un fuerte olor.

- **Creosotas**

La obtención de creosotas es un proceso complejo que destila alquitrán de hulla al carbonizar a las temperaturas altas hulla bituminosa; contiene sustancias ácidas que conforman el 5% de la creosota total estas son fenoles creosoles xilenos y naftoles de alto poder fungicida, sustancias alcalinas representan otro 5% que son peridinas, quinolinas y acridinas, y el resto lo conforman sustancias neutras como

los hidrocarburos aromáticos, antraceno, naftaleno, benceno xileno representando el 90%. (Vaca, 1998)

La creosota es insoluble al agua, posee alta toxicidad, no corroe al metal, no permite que la madera sea pintada, tiene un fuerte olor e irrita la piel; por lo que no es aconsejable para minería subterránea ya que puede ocasionar daños a los trabajadores. Como ejemplos de creosotas tenemos los naftenatos, pentaclorofenol, el óxido tributil estannoso y quinolinolato de cobre. (Vaca, 1998)

- **Naftenatos**

Se obtiene de la refinación del petróleo y sales de metales como el cobre y el zinc, de textura cerosa, no son cristalinos, de color verde oscuro, olor desagradable y soluble en aceite. En su aplicación se usa el cobre al 0.5%. El naftenato de zinc es menos tóxico y casi incoloro. Y como los naftenatos de mercurio y hierro que no sirven para el tratamiento de la madera. (Piqué, 1984)

- **Óxido Tributil Estannoso**

Tiene un alto poder de fijación en la madera, no macha y es soluble en solventes orgánicos menos en el agua y no se lixivia fácilmente.

- **Quinolinolato 8 de cobre**

Tiene buena fijación en la madera, no irrita la piel y su coloración es amarillenta. (Vaca, 1998)

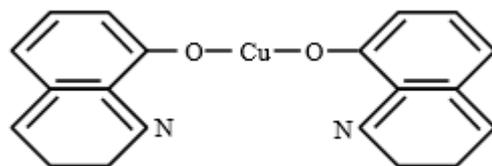


Figura 1. 15 Formula química del Quinolonolato 8 de Cobre

Fuente: (Vaca, 1998)

1.12.2.2 Protectores hidrosolubles. - son mezclas de sales que tienen propiedades biosidas entre otras, que aseguran una buena fijación a la madera, también pueden contener inhibidores de la corrosión, colorantes, solubilizadores, para la venta se la encuentra en polvo o en forma de pasta viscosa que es soluble en agua. Se aplica en madera seca, se humedece al momento de aplicar y se debe volver a secar. Son buenos fijadores de la madera, carecen de olor, no son inflamables, resisten la lixiviación, tiene un alto poder fungicida. Al momento de la impregnación del compuesto en la madera, este tiende a hincharlo, lo que la obliga a secarla nuevamente. (Vaca, 1998)

- **Arsénico- Cobre – Amonical**

Formada por óxidos de cobre y arsénico, para su aplicación se disuelven en amoniaco, en 3 semanas después de su aplicación se evapora con el agua y el cobre, fijando el arsénico en la madera, es eficaz para maderas que están en contacto con el suelo. (Vaca, 1998)

- **Sales Cupro o CCA**

Consiste en una solución acuosa al 60 %, formulado con 28.5% de CrO₃, 11.1% de CuO, 20.4% de As₂O₅ y 40% de agua. Tiene un alto índice de fijación y es insoluble en agua. Se tiene experiencia con el eucalipto ya que se ha conseguido que sea totalmente impregnado. Para evitar la corrosión se une a elementos de doble galvanizado y tiene muy buena efectividad en zonas con agua dulce o salada. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

- **Sales Cupro – Cromo – Bóricas**

Patentada por el Dr. Karl H. Wolmann en 1913 es una técnica para arboles recién cortados, no tienen mal olor, no irrita los ojos; usa al cobre como fungicida, al boro como insecticida y al cromo como fijador, se aplica en arboles recién apeados, otorgándoles una coloración verdosa, puede ser pintada, es de fácil manipulación, no despiden olores ni vapores irritantes. Para estar en contacto con el suelo la

madera requiere 12 kg/cm, después de la fijación se necesita secar de 6 a 8 semanas, lo que termina siendo un proceso largo. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

- **Compuestos de Boro**

Incoloros, se puede lixiviar con el agua, corrosivos; para minimizar la corrosión se mezclan con óxido bórico o bórax. No tiñen a la madera, actúan como retardados de combustión. (Vaca, 1998)

1.12.2.3 Protectores orgánicos. - estos entran con mayor facilidad en la madera, no mancha; se coloca en madera seca y no la humedece en el momento de la aplicación. (Piqué, 1984)

- **Pentaclorofenol**

Formado a partir de la reacción del cloro sobre el fenol, es el más tóxico de los preservantes orgánicos oleosolubles. Su aplicación puede ser inmediata después de haberlo disuelto en el aceite, es un compuesto escamoso granulado de color oscuro, no se disuelve en agua, irrita la piel y mucosas a su contacto. (Piqué, 1984)

1.12.3 Métodos de tratamiento de la madera

1.12.3.1 Sin presión:

- **Brocheado y Pulverizado**

Se aplica sobre la superficie de la madera 2 o 3 veces cubriéndola por completo, logra pequeños porcentajes de penetración, los preservantes más usados son los oleosolubles. (Erquicia, 2014)

- **Inmersión**

Se sumerge la madera por completo dentro de:

- a) Preservadores oleosolubles y oleosos.
- b) Preservadores hidrosolubles

- **Inmersión Instantánea**

Se usa para maderas verdes, se las sumerge por completo en la solución hidrosoluble, luego son forradas con plástico para evitar la evaporación del material. Generalmente se utilizan mezclas químicas de bórax y ácido bórico. (Erquicia, 2014)

- **Inmersión Caliente**

Se sumerge las piezas dentro de un tanque con una solución caliente de compuestos como el ácido bórico, durante la inmersión, el preservante se difunde dentro de la madera, el tiempo de inmersión varía de acuerdo a factores como concentración de la solución y dimensión de las piezas. (Vaca, 1998)

- **Ascensión Simple**

Se usa en maderas de alta humedad, en soluciones de sal o sales hidrosolubles, la protección que ofrece es muy limitada y su aplicación puede durar entre 5 a 10 días. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

- **Ascensión Doble**

Es igual que la ascensión solo que en este método se sumerge por segunda vez la madera en otro compuesto. (Cianciarulo & Llambías, 2013)

- **Baño Caliente – Frío**

Se usa la variación de la temperatura para que la madera se dilate y se contraiga favoreciendo la penetración se usa compuestos orgánicos, no se puede usar compuestos hidrosolubles debido a que estos se descomponen a temperaturas entre 80 y 100°C que se requieren en el proceso. (Vaca, 1998)

1.12.3.2 Procesos a Presión

Utilizan cilindros cerrados herméticamente, este proceso es el más efectivo en cuanto a penetración de preservante se trata, además se puede regular el contenido dependiendo de las necesidades de la mina, en contraparte tenemos que las instalaciones son costosas, por lo que se requiere una gran producción. (Erquicia, 2014)

En el caso de la madera exterior que se ha protegido mediante técnicas de vacío-presión con productos hidrosolubles, siguiendo las indicaciones del fabricante, se puede alcanzar una vida útil, dependiendo de la especie de madera, de 50 años (otros fabricantes y técnicos la rebajan a 20 años). (Cianciarulo & Llambías, 2013)

Entre los tratamientos con presión en autoclave se destacan los siguientes:

- **Proceso de Bethell o Célula Llena**

Patentado en 1838 por John Bethell, se usa en madera con una humedad del 25 – 28%, descortezada; permite retener una gran cantidad de solución. Se introduce en una autoclave con vacío de 0.60 kg/cm² para eliminar el aire de la madera, seguidamente se introduce la solución hasta llenar a la autoclave se aplica presión constante de 14 kg/cm². (Vaca, 1998)

- **Proceso Rueping**

Se llena la autoclave con el producto que por lo general en este proceso son soluciones oleosolubles, inicialmente se aplica presión de aire antes de la inyección del preservante. La penetración se da comprimiendo el aire que queda dentro de la madera. (Vaca, 1998)

- **Proceso Lowy o Célula Vacía**

Sus absorciones son más bajas que las logradas con el proceso de Bethell, son útiles para preservar maderas permeables. En este no se realiza una presión inicial, sino que una vez colocada la madera, se llena con la solución a presión atmosférica, se eleva la presión a 10 -12 kg/cm² manteniendo a cierto tiempo, luego se bombea el preservante al tanque de almacenamiento y se hace el vacío final, para luego recuperar el exceso de líquido y secar la superficie de la madera. (Erquicia, 2014)

- **Proceso Boucherie**

Se usa en madera en estado verde, se reemplazará la sabia de la madera por compuestos hidrosolubles, con un recipiente a 7 o 10 metros de altura, para facilitar la salida de la sabia, este proceso puede presentar rajaduras al final. Para este procedimiento se necesita 1 atmósfera de presión, que se la consigue por una diferencia de 10 metros de altura. (Erquicia, 2014)

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta tesis se consideró al Eucalipto como la madera de prueba se obtuvieron 10 vigas de eucalipto a cada viga se le asignó una letra en orden alfabético, después se cortó a cada viga según la norma ASTM y a cada probeta que salía de cada viga se a signaba un numero en orden ascendente como por ejemplo: A1, A2, A3... ; B1, B2, B3 ... ; etc.

2.1 Proceso de tratamiento de las probetas.

El proceso que se siguió para el tratamiento de la madera, comienza desde su origen en los aserraderos, pasando por su preparación, pesaje, calibración de equipos, preparación de materiales, aplicación del tratamiento, secado y prueba de compresión uniaxial. Se siguió las normas ASTM para la validación de los datos obtenidos, a continuación el Diagrama del proceso de tratamiento de la madera y su correspondiente descripción:

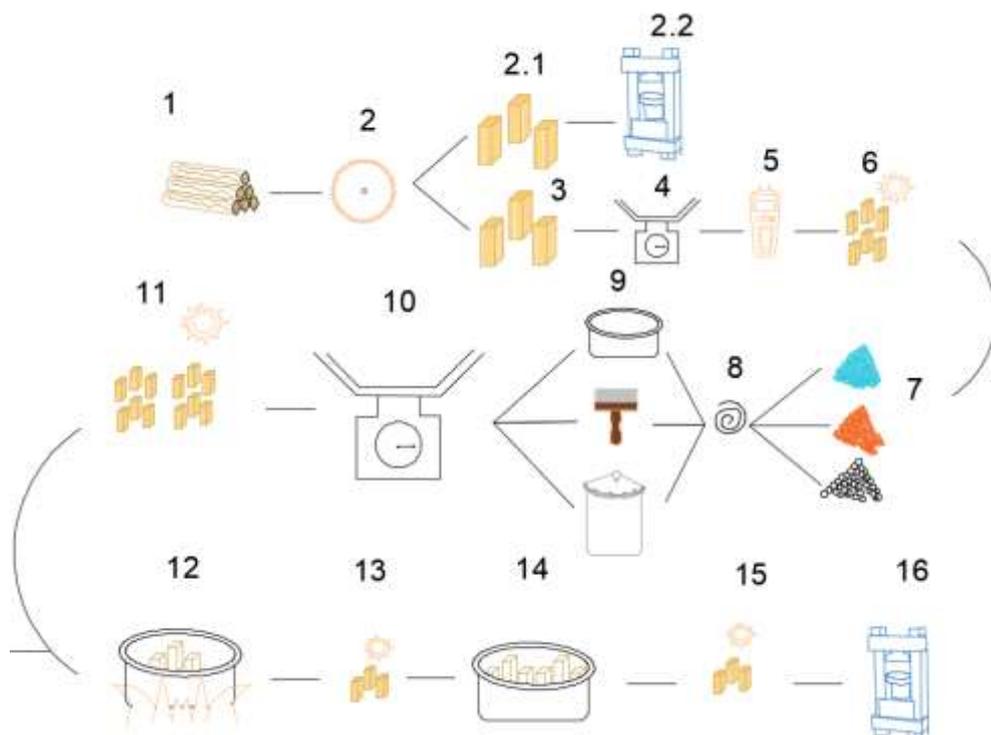


Figura 2.1 Diagrama del proceso de tratamiento de las probetas.

Descripción:

1. Se compró la madera de Eucalipto en varios aserraderos.
2. Se cortó y pulió cada viga de Eucalipto para obtener las probetas.
 - 2.1 Se seleccionó aleatoriamente 4 probetas sin ningún tratamiento.
 - 2.2 A esas probetas se les realizó pruebas de resistencia a la compresión uniaxial.
3. Las demás probetas se las divide en grupos aleatoria mente para ser tratadas.
4. Se registra el peso de cada probeta.
5. Se registra la humedad de cada probeta con el hidrómetro.
6. Se secan las probetas naturalmente.
7. Se prepara los preservantes.
8. Se mezcla los preservante en agua destilada.
9. Se utiliza en mismo preservante para cada proceso de impregnación (pinceladas, inmersión y autoclave).
10. Después de cada proceso de impregnación se pesa cada muestra para registrar la retención inicial.
11. Se seca de manera natural las probetas.
12. Se unta a la mitad de las probetas de cada proceso en brea.
13. Se deja secar la brea.
14. Se sumerge en agua las probetas con brea y sin brea durante un periodo de 2 semanas.
15. Se deja de secar y se pesa cada muestra.
16. Se somete a cada una de las probetas al ensayo de compresión uniaxial.

2.2. Equipo de trabajo

Durante el proceso de tratamiento se recurrió a diferentes materiales y máquinas en estado óptimo, calibradas y con el mantenimiento necesario, ya que cada punto dentro del proceso se necesitaba precisión para lograr que cada dato obtenido sea lo más confiable posible.

2.2.1 Máquinas de corte.

- **Sierra de mesa.-** es un equipo de marca Bosch modelo Gts1031 10 Pulgadas, se utilizó en el segundo punto del proceso de tratamiento, su sierra con dientes de diamante es perfecta para realizar cortes longitudinales.



Figura 2.2 Sierra de mesa usada para realizar el corte longitudinal de las probetas.

Fuente: Bosch

- **Sierra Ingletadora.-** Altas prestaciones de corte, tanto para pequeños como grandes, hasta 11.0 x 303mm; el diámetro de la hoja circular es de 12 in. Es la indicada para cortar a escuadra, a 45° y con inclinación y cortes transversales. Se usó en el segundo punto del proceso de tratamiento.



Figura 2.3 Sierra Ingletadora utilizada para realizar el corte transversal de la madera.

Fuente: DeWalt.

2.2.2 Medidor de humedad.

Se adquirió el hidrómetro MO50 de EXTECH, que nos da la humedad de la madera en porcentajes, gracias a sus pines determinan la resistencia eléctrica. Además, sirve para el análisis de las secuelas de las fugas de agua detrás de las paredes y en los techos. Se usó en el quinto punto del proceso de tratamiento después del pesado de la nuestras.



Figura 2.4 Hidrómetro Extech utilizado para determinar la humedad de la madera.

Fuente: Extech

2.2.3 Autoclave.

La autoclave que se utilizo fue un YX-18LM de la marca MTn GEARSMITH, tiene una capacidad de 18L, su presión de trabajo es 0.14 a 0.16 Mpa, llega a una temperatura de 126°C. Se utiliza en el noveno punto del proceso de tratamiento



Figura 2.5 Autoclave utilizado en todos los procesos de presión.

Fuente: MTn Gearsmith

2.2.4 Máquina de Ensayo.

Para los ensayos de compresión la máquina usada fue Matest S.p.A. Treviolo, del laboratorio de geotécnica de la universidad de Cuenca, con capacidad de 2000 kN, alcanza una presión máxima de 618.17 bares. Se la utilizo en el último punto del proceso de tratamiento.



Figura 2.6 Máquina de compresión Matest S.p.A. Treviolo, utilizada para realizar las pruebas de compresión de la madera.



Figura 2.7 Panel de la máquina de compresión Matest S.p.A. Treviolo.

2.2.5 Microscopio Óptico.

Se usó los lentes de 4 y 10 de aumento para la determinación de penetración y distribución del preservante dentro de las probetas.



Figura 2.8 Microscopio Óptico.

2.2.6 Preservantes a utilizar.

La mezcla del preservantes una sal hidrosoluble conocida como CCB (cupro cromo boricas), compuesta por sulfato de cobre, ácido bórico y dicromato de sodio u óxido de sodio. No afecta al ambiente ni al personal, se utilizaron los preservantes en el octavo punto del proceso de tratamiento.

- **Sulfato de cobre CuSO_4 .**

Se utiliza desde el año 1767 en Francia, patentado por M. Boucherie, costo es bajo, corroe el acero, puede ser eliminado de la madera por permanecer soluble en ella por la lixiviación. Comúnmente se usaba en los postes de alambrado. (GTM, 2014)



Figura 2.9 Sulfato de cobre.

- **Dicromato de sodio $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}_2$.**

En términos de reactividad y apariencia, el dicromato de sodio presenta propiedades similares al dicromato de potasio, sin embargo, la sal de sodio es más soluble en agua y posee un peso equivalente menor a la sal de 11 potasio, por ser más duro que otros óxidos metálicos, como el titanio o el hierro, es ideal para ambientes donde la temperatura y las condiciones del proceso son agresivas. (GTM, 2014)



Figura 2.10 Dicromato de Sodio.

- **Ácido Bórico BrO_3H_3 .**

Es un compuesto químico, ligeramente ácido. Es usado como antiséptico, insecticida, retardante de la llama y precursor de otros compuestos químicos. Es usado también como agente tampón para regulación del pH. (ACHS, 2002)



Figura 2.11 Ácido Bórico.

2.3 Metodología

2.3.2 Tamaño de la muestra.

Para estudios tecnológicos que permitan un valor promedio de las propiedades físicas y mecánicas principalmente, deben tomarse una muestra de por lo menos 3 árboles por población. Hemos tomado 4 muestras para cada prueba de resistencia a la compresión uniaxial y 4 muestras más para el microscopio.

2.3.3 Selección de trozas.

Se obtuvo la madera de 3 aserraderos diferentes en la ciudad de Cuenca, el primero se encuentra ubicado en la Av. 10 de agosto, entre Fray Vicente Solano y Eduardo Malo.

El segundo se encuentra en la vía a Ricaurte, sector colegio Sudamericano, y el tercero está ubicado en Sinincay vía Capulispamba.

Se compraron vigas de aproximadamente 10x10 cm por 2 metros de largo y vigas de 5x5 cm por 1,5 metros. Luego se preparó la madera que consisten en el cuadrado y nivelado y de estas se procedió a clasificarlas ya que algunas no cumplían con las dimensiones necesarias. Se pulieron y rotularon las muestras manualmente utilizando letras por cada viga y números por cada muestra que resultaba de cada viga.

2.3.4 Aserrado de las probetas.

Según la norma ASTM D 143 -94 para las pruebas de compresión a fibra paralela las probetas deben tener las dimensiones siguientes 50x50x200 mm, pero la comodidad de usar la maquinaria del laboratorio las dimensiones finales de la probeta fueron las siguientes 48x48x150 mm, sin ningún cambio en la lectura final de la resistencia.



Figura 2.12 Dimensión lateral de la probeta de madera para compresión.



Figura 2.13 Dimensión longitudinal de la probeta de madera para compresión.

Para determinar la penetración del preservante por medio de observación en el microscopio nos regimos a las dimensiones 100x100x200 mm.



Figura 2.14 Dimensión lateral de la probeta de madera para microscopio.



Figura 2.15 Dimensión longitudinal de la probeta de madera para microscopio.

Para el proceso de impregnación por medio de autoclave e inmersión se necesitaba que las muestras tengan un mínimo de 20% de humedad, en cambio para el proceso de impregnación se necesita que la muestra tenga menos del 20% de humedad. Para obtener la cantidad de humedad necesaria en cada proceso recurrimos al uso de un medidor de humedad en madera, y las que no tenían la humedad correspondiente se las dejaba secar.

2.3.5 Número de probetas por ensayo.

Ya que nuestro ensayo experimental se divide en 3 formas de impregnación y a su vez cada una se divide en 4 tiempos de aplicación. Se destinó 8 muestras, 4 de ellas para prueba de resistencia a la compresión uniaxial y las otras 4 para la observación mediante microscopio. Adicionalmente se determinó la resistencia normal de la madera sin ningún proceso de impregnación de preservante con 4 probetas escogidas aleatoriamente entre las probetas existentes. De obtuvo un total de 100 probetas necesarias para el ensayo.

Se le otorgó a cada probeta una letra y un número, la letra dependiendo de a que viga pertenecía como se consiguió 13 vigas, las letras otorgadas fueron A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, N y un número por cada probeta que se obtenía de cada viga, se consiguió 10 probetas de cada una, otorgándoles nombres como A1, J8, L10, etc.

2.3.6 Identificación de variables.

En el cuadro a continuación se muestra la correlación de las variables. La profundidad de penetración está directamente relacionada con la variable interviniente en este caso sería el número de pinceladas o en tiempo de inmersión o autoclave con un solo preservante, las sales CCB. Mientras que la variable independiente será la impregnación del preservante que lo que queremos determinar.

Tabla 2.1 Identificación de variables.

Variable Independiente	Variable Interviniente	Variable Dependiente	
Impregnación de preservante por el método de pincelado	1 pincelada	Profundidad de penetración Físico (mm)	Resistencia a la compresión uniaxial Mecánico (MPa)
	2 pinceladas		
	3 pinceladas		
	4 pinceladas		
Impregnación de preservante por el método de inmersión	2 semanas	Profundidad de penetración	Resistencia a la compresión uniaxial Mecánico
	4 semanas		
	6 semanas		

	8 semanas	Físico (mm)	(MPa)
Impregnación de preservante por el método de autoclave	½ hora	Profundidad de penetración	Resistencia a la compresión uniaxial
	1 hora		
	1 ½ hora	Físico	Mecánico
	2 horas	(mm)	(MPa)

2.3.7 Medición de probetas.

Las vigas de madera fueron preparadas, ya que no tenían las dimensiones necesarias. Después del canteado, cepillado y nivelado se procedió a tomar las medidas correspondientes a cada probeta, se descartaron las probetas que se habían rajado al momento del corte y no tenían las dimensiones necesarias.

2.3.8 Medición de humedad.

Se registró la humedad de todas las muestras con el hidrómetro MO50 de EXTECH, la mayoría de las probetas mostraban humedades mayores a 20%, lo cual era ideal para el proceso de inmersión, pero no para el pincelado y la autoclave. A estas muestras se la dejó secar al aire libre sin la influencia del sol ya que el mismo podía causar torceduras en la madera.



Figura 2.16 Medición de Humedad con Hidrómetro.

2.3.9 Pesaje de muestras.

Se registró lo pesos de cada muestra antes de someterla a cualquier proceso para poder determinar cuánto preservante absorbió en cada proceso.



Figura 2.17 Pesaje de Probetas.

2.3.10 Preparación de preservante.

Se preparó antes de cada proceso el preservante necesario, se disolvió en agua destilada fría los siguientes componentes en orden indistinto. (Frosch, 2011)

1. Principios activos
 - Óxido de cobre 2.11 %
 - Dicromato sódico 6.3 %
 - Ácido bórico 0.66 %
2. Concentración: 9 % en materia activa
3. Densidad: 1.06 ± 0.03 g/cm³ (20°C)
4. Valor de pH: 2 – 5 (1 % en agua)
5. Punto de inflamación: No inflamable, solución acuosa
6. Solubilidad en agua: Soluble
7. Dosificación: Solución al 9.2 – 100 % en agua (Frosch, 2011)

Cantidad de cada compuesto en 1 litro de agua destilada:

3.34gr CuSO_4	}	en 100 cc
6.30gr $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}_2$		
0.66gr BrO_3H_3		



Figura 2.18 Preparación del preservante.

2.3.11 Medición de pH.

Con las tiras de pH de 0 a 14 se determinó el pH de la solución antes de la aplicación y después de cada proceso dándonos como resultado un pH de 4-5 siendo este ácido.



Figura 2.19 Medición del pH.



Figura 2.20 Tabla comparativa de pH.

2.3.12 Inmersión de las probetas.

Se preparó 20 litros de preservante y se introdujeron 16 muestras grandes y 16 muestras pequeñas

Tabla 2.2 Detalle del proceso del método de inmersión.

Tiempo en Inmersión	Ensayo de compresión		Microscopio			
	Ensayo compresión	Prueba agua	Corte transversal	Corte longitudinal	Prueba agua	Tiempo secado
2 semanas	3	1	1	1	1	1
4 semanas	3	1	1	1	1	1
6 semanas	3	1	1	1	1	1
8 semanas	3	1	1	1	1	1
Total	12	4	4	4	4	4



Figura 2.21 Inmersión de las probetas en preservante.

2.3.13 Pincelado de las probetas.

Se preparó un litro de preservante y con la ayuda de brochas se pinceló 16 muestras grandes y 16 muestras pequeñas se esperó que secaran parcialmente y se pinceló por segunda vez a 12 muestras pequeñas y 12 muestras grandes, se secaron parcialmente y luego se pinceló por tercera vez a 8 muestras grandes y 8 muestras pequeñas, se secaron y se pinceló por cuarta vez a 4 muestras pequeñas y 4 muestras grandes.

Tabla 2.3 Detalle del proceso del método de pincelado.

Número de Pinceladas	Ensayo de compresión		Microscopio			
	Ensayo compresión	Prueba agua	Corte transversal	Corte longitudinal	Prueba agua	Tiempo secado
1 pincelada	3	1	1	1	1	1
2 pincelada	3	1	1	1	1	1
3 pincelada	3	1	1	1	1	1
4 pincelada	3	1	1	1	1	1
Total	12	4	4	4	4	4



Figura 2.22 Pincelado de probetas.

2.3.14 Autoclavado de probetas.

Se preparó 12 litros de preservante, luego en el autoclave se colocó 4 muestras pequeñas y 4 muestras grandes se llenó el autoclave de preservante, se tapó, aseguró y se conectó a energía y en aproximadamente 15 minutos salió todo el aire, se cerraron las válvulas y se lo dejó conectado por 30 minutos, su temperatura llegó hasta los 106°C y una presión de 40 KPa al terminar se dejó enfriar y se sacaron las muestras, se repite el proceso y se dejó conectado por 1 hora llegando a una temperatura 111°C y una presión de 50 KPa, y así 1 ½ con una temperatura de 116°C y una presión 70 KPa y 2 horas con una temperatura de 120°C y una presión de 90 KPa.

Tabla 2.4 Detalle del proceso del método de autoclave.

Tiempo en Autoclave	Ensayo de compresión		Microscopio			
	Ensayo compresión	Prueba agua	Corte transversal	Corte longitudinal	Prueba agua	Tiempo secado
½ hora	3	1	1	1	1	1
1 hora	3	1	1	1	1	1
1 ½ hora	3	1	1	1	1	1
2 horas	3	1	1	1	1	1
Total	12	4	4	4	4	4



Figura 2.23 Probetas en Autoclave.

2.3.15 Secado de muestra.

Después de cada proceso se mantuvo a la muestras al ambiente para realizar su secado natural.



Figura 2.24 Secado de probetas.

2.3.16 Aplicación de brea.

Después de que las muestras han alcanzado un estado seco, es decir, una humedad por debajo del 15%; se procede a la aplicación de brea, que actuará como una capa impermeable para así evitar que el agua solubilice el preservante. Con un soplete se calienta la madera, sin quemarla, en seguida se sumerge la probeta en la brea caliente y con ayuda de una brocha se cubre toda la probeta. Finalmente se cuelga la probeta con la ayuda de tornillos, para que no tenga contacto con el suelo y que no se adhieran otros elementos.



Figura 2.25 Impermeabilización de la madera con brea.



Figura 2.26 Secado de madera con brea.

2.3.17 Inmersión de las probetas con brea en agua.

Para comprobar si el método de impermeabilización resulto efectivo se sumergió las muestras con brea en agua, un total de 15 días. Después se la sometió a compresión para determinar si su resistencia se ha visto afectada.



Figura 2.27 Inmersión de probetas con brea en agua.

2.3.18 Corte longitudinal y transversal de probetas para microscopio.

Con la ayuda de una sierra de mesa y una sierra ingletadora se cortó láminas de aproximadamente 1,5 cm para determinar por medio de la observación en microscopio la penetración que obtuvo el preservante con cada método de impregnación.



Figura 2.28 Corte de probetas.

2.3.19 Realización de ensayos de compresión de todas las probetas.

Se realizó el ensayo de compresión en la máquina Matest S.p.A. Treviolo, en el laboratorio de Geotecnia y Materiales perteneciente a la Universidad de Cuenca.

Se rompió cada muestra individualmente, dando por terminado cada ensayo al momento en el que la probeta fallara.



Figura 2.29 Prueba de compresión uniaxial.



Figura 2.30 Probetas probadas.

2.3.20 Determinación de la penetración por observación.

Se midió la penetración del preservante de cada probeta, con la ayuda de una regla de centímetros.



Figura 2.31 Penetración del preservante.

2.3.21 Determinación de la penetración por medio de Microscopio óptico.

Con la ayuda del microscopio se pudo observar la penetración del preservante.

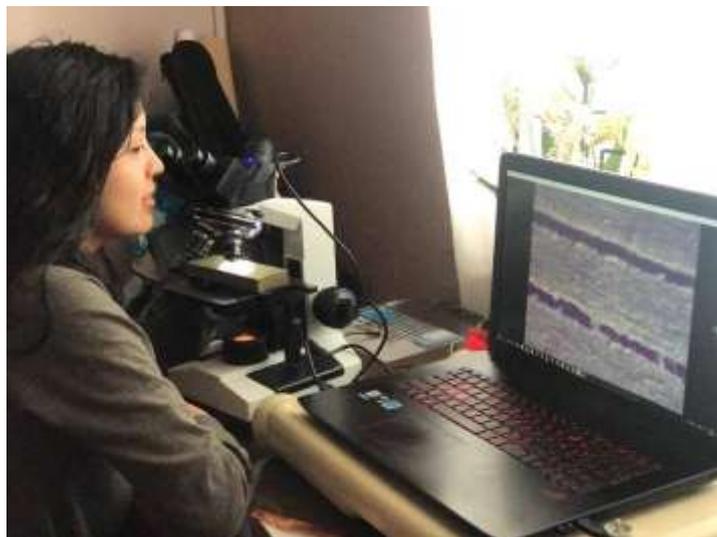


Figura 2.32 Observación de la penetración del preservante.

CAPITULO III

RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Tablas de resultados

Se elaboró curvas con los datos del peso y humedad de cada proceso, para determinar cuánto de la solución de preservante retiene inicialmente y cuánto tiempo se necesita para secar la madera. Cada curva indica el peso antes de cada proceso, después del proceso y conforme las probetas se fueran secando.

La aplicación de una pincelada a las probetas es un proceso muy fácil de realizar, pero el eucalipto seco tiende a ser ligeramente impermeable lo que provoca que no penetre en grandes cantidades el preservante, la retención inicial de la solución fue de 2 a 4 g, el secado tomó alrededor de 17 días, con secado queremos decir hasta que su humedad alcance menos del 15%. Con la segunda pincelada ocurrió relativamente lo mismo que con la primera, tan solo superando la retención inicial de la anterior con apenas el 0.3 gramos de la solución. Con la tercera y cuarta pincelada la retención inicial del preservante no aumenta más de 0.2 g que la 2 pincelada. Su secado tomo 70 y 80 días respectivamente.

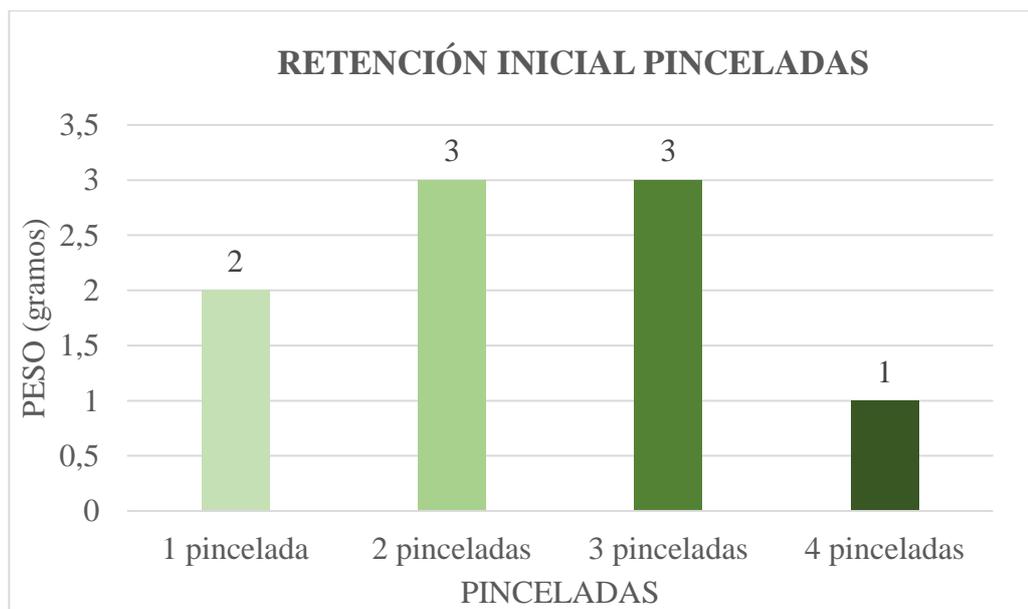


Figura 3.1 Retención Inicial del preservante con pinceladas.

Con la aplicación de la primera pincelada el peso aumento 2 gramos aproximadamente, pero conforme pasaron los días su peso continuaba descendiendo la humedad se normalizó a partir del día 6, llegando todas las probetas al 15 % de humedad, las mismas continuaron descendiendo, pero no de forma importante, ya que hasta el día 18 solo consiguió bajar hasta el 13 %. (Véase figura 3.3)

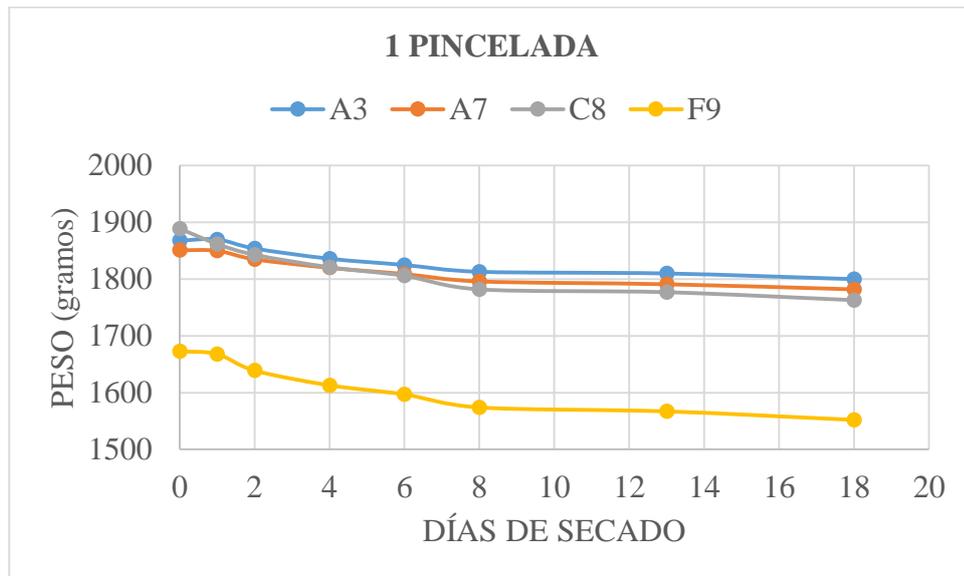


Figura 3.2 Variación del peso de cada probeta con 1 pincelada.

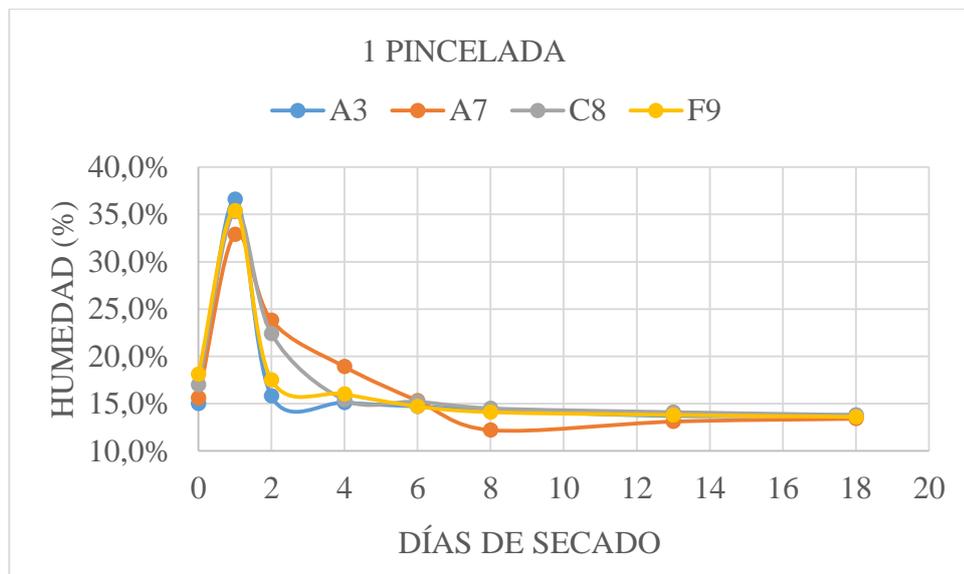


Figura 3.3 Variación de la humedad de cada probeta con 1 pincelada.

El peso que adquirió cada probeta después de darle la segunda pincelada fue de aproximadamente 2 gramos. Su humedad tiene dos picos en los que se puede ver las veces en las que se aplicó el preservante, véase fig. 4.4. El tiempo de secado se extendió a 30 días ya que se esperó que se secara completamente antes de aplicar la tercera pincelada.

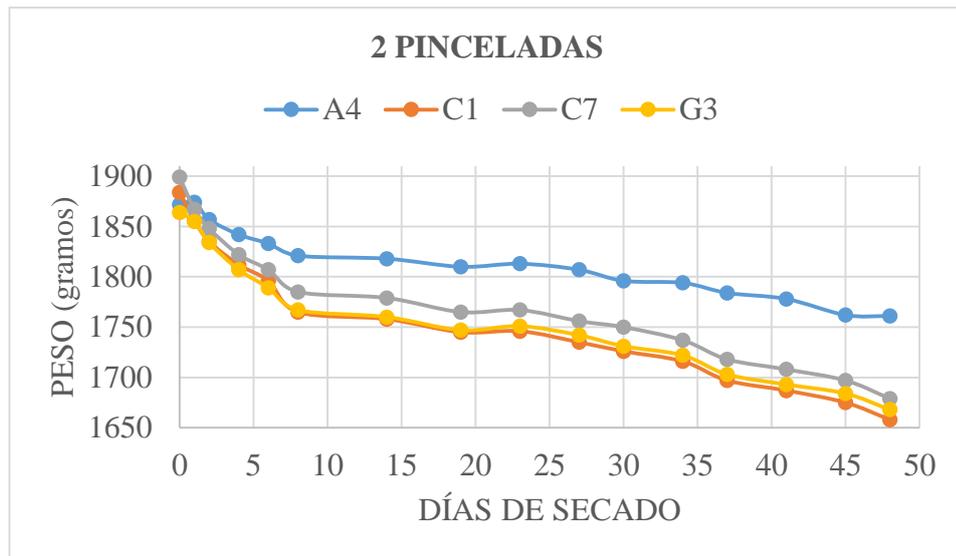


Figura 3.4 Variación del peso de cada probeta con 2 pinceladas.

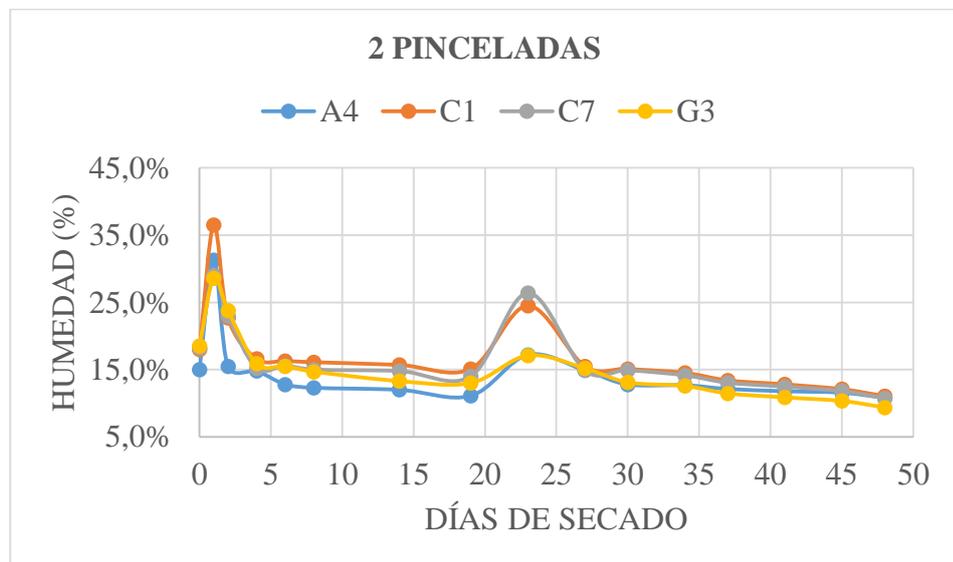


Figura 3.5 Variación de la humedad de cada probeta con 2 pinceladas.

Con la tercera y cuarta pincelada la retención inicial del preservante no aumenta más de 0.2 g que la 2 pincelada. Su secado tomo 70 y 80 días respectivamente.

La humedad en la tercera pincelada responde de la misma manera que las pinceladas anteriores por lo que podemos ver en la figura 3.7, 3 picos que representan cada vez que se aplicaba el preservante.

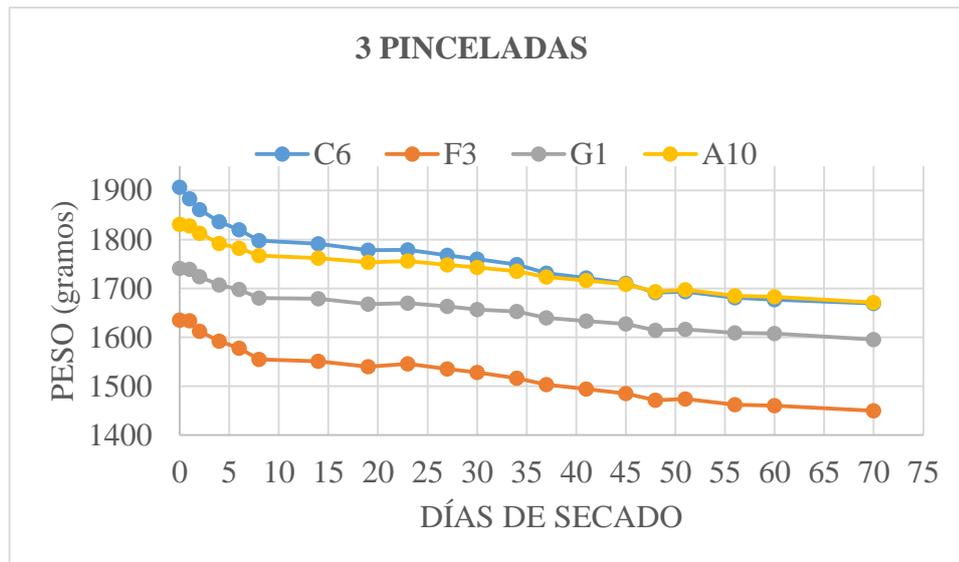


Figura 3.6 Variación del peso de cada probeta con 3 pinceladas.

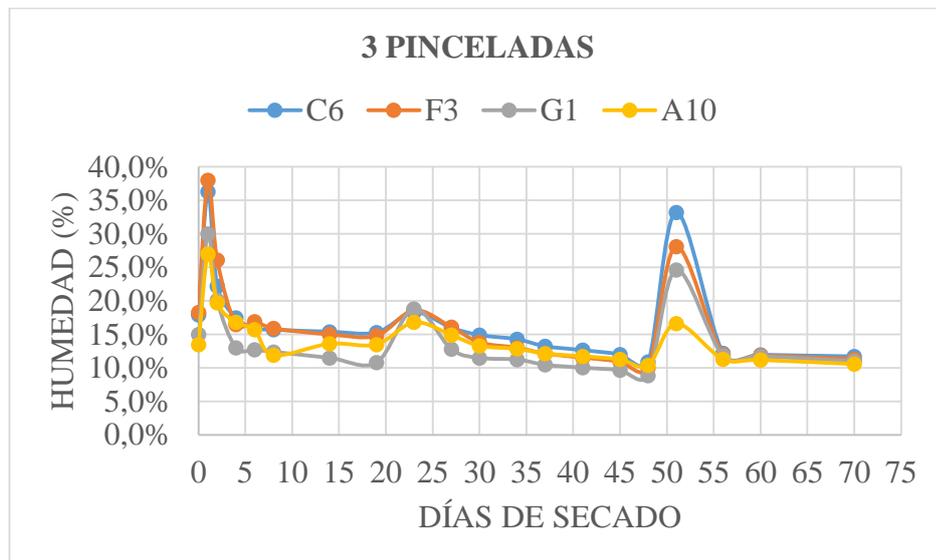


Figura 3.7 Variación de la humedad de cada probeta con 3 pinceladas.

Con la 4 pincelada el peso no aumento más de 0.2 gramos y su humedad presenta 4 picos que indican cada pincelada que se aplicó a cada probeta.

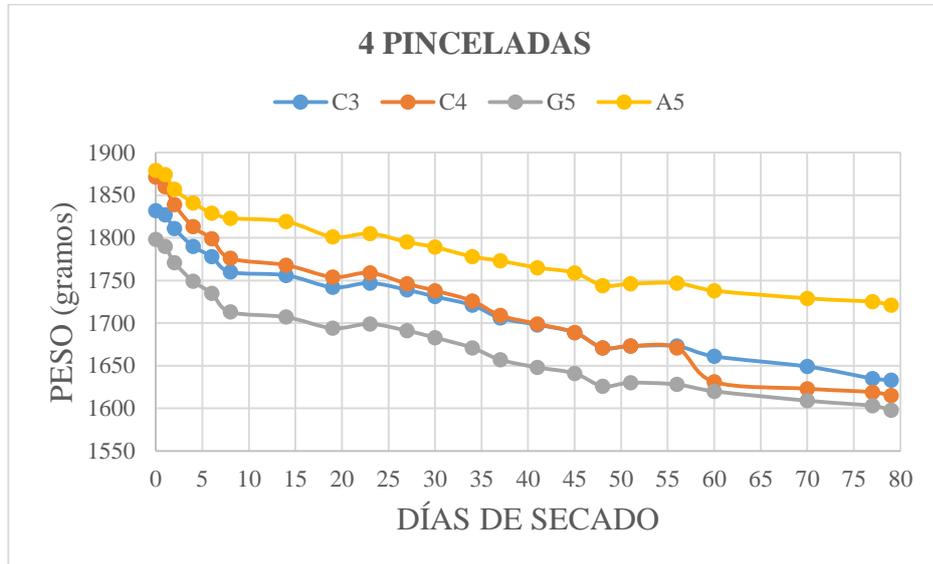


Figura 3.8 Variación del peso de cada probeta con 4 pinceladas.

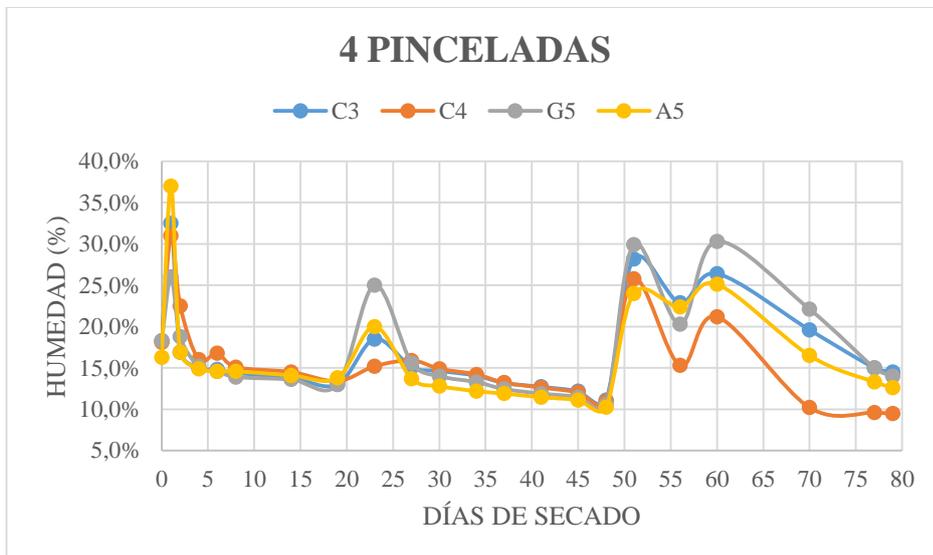


Figura 3.9 Variación de la humedad de cada probeta con 4 pinceladas.

Con la 2 dos semanas de inmersión se alcanza una retención inicial de la solución de 130 gramos por cada muestra, con las 4 semanas de inmersión su retención inicial mejora alcanzando 170 gramos de retención inicial de preservante, con las 6 semanas de inmersión la retención inicial de la solución es de 165 gramos lo que no difiere mucho de lo retenido en las 4 semanas, su peso y humedad se normalizan después del día 20 hasta el día 45 y finalmente con las 8 semanas de inmersión se logra una retención inicial de la solución de 185 gramos, su peso y humedad se normalizan después del día 20 y varía muy poco hasta el día 45.

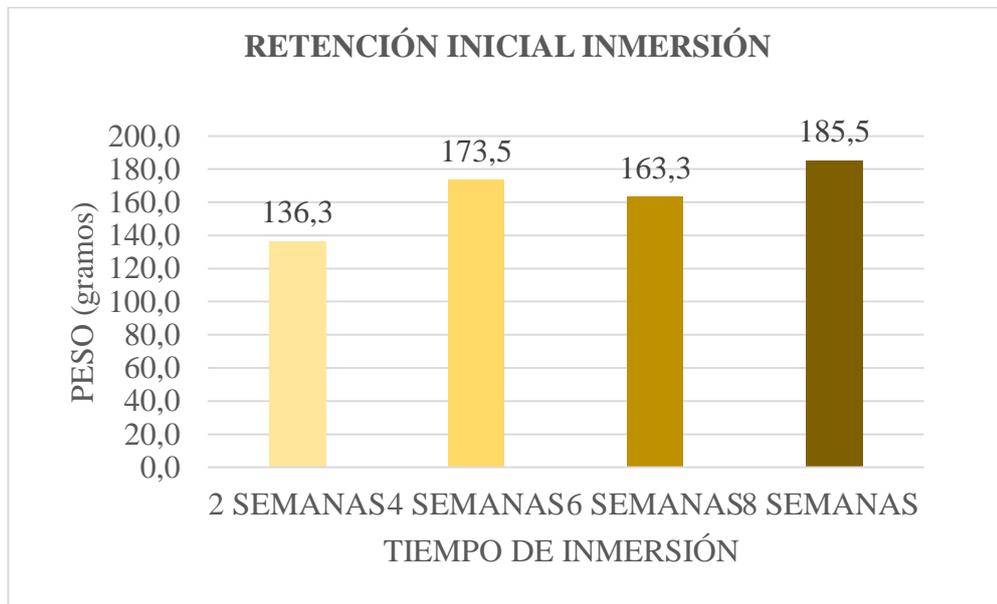


Figura 3.10 Retención inicial de preservante en inmersión

Como se pudo apreciar en la figura 3.10. La retención inicial de la solución del preservante fue mucho mayor que la del proceso de pinceladas, su peso aumenta aproximadamente 130 gramos con las dos semanas en inmersión.

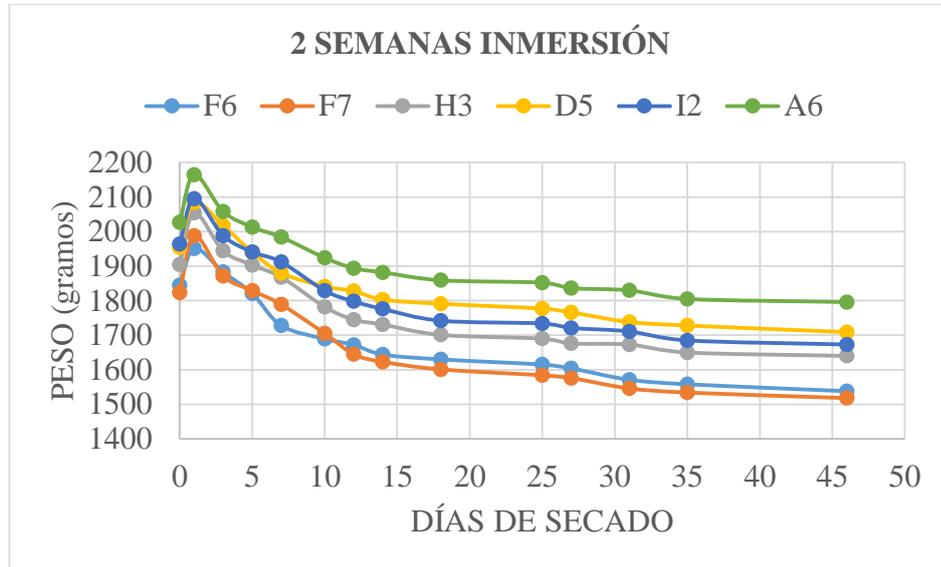


Figura 3. 11 Variación del peso de cada probeta en 2 semanas de inmersión.

Las humedades de las probetas en dos semanas de inmersión se normalizaron en un tiempo mayor que en las pinceladas, aproximadamente 15 días. Llega a una humedad menor del 15 % hasta después de 45 días de secado natural.

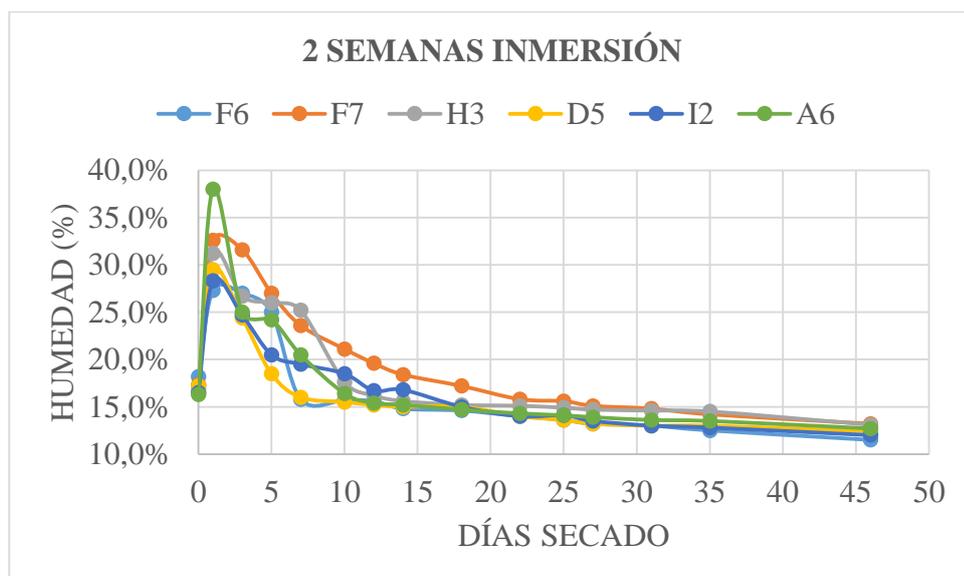


Figura 3.12 Variación de la humedad de cada probeta en 2 semanas de inmersión.

Con las 4 semanas de inmersión su retención inicial mejora alcanzando 170 gramos de retención inicial de preservante, su peso y humedad se normalizan a partir del día 20 hasta el día 45.

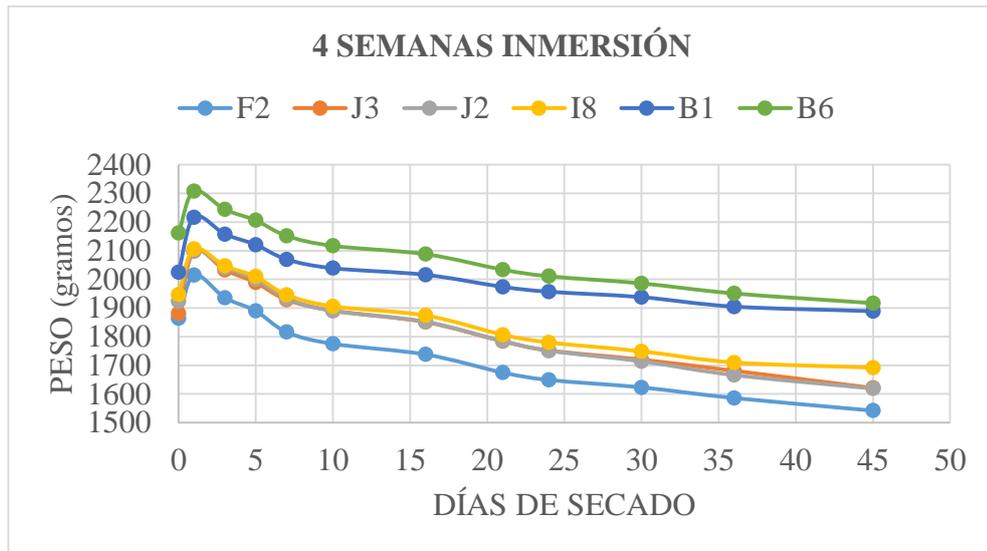


Figura 3.13 Variación del peso de cada probeta en 4 semanas de inmersión.

Para normalizar la humedad de las probetas en 4 semanas de inmersión tomo alrededor de 20 días y para llegar a una humedad menor del 15 % se secó naturalmente hasta 45 días.

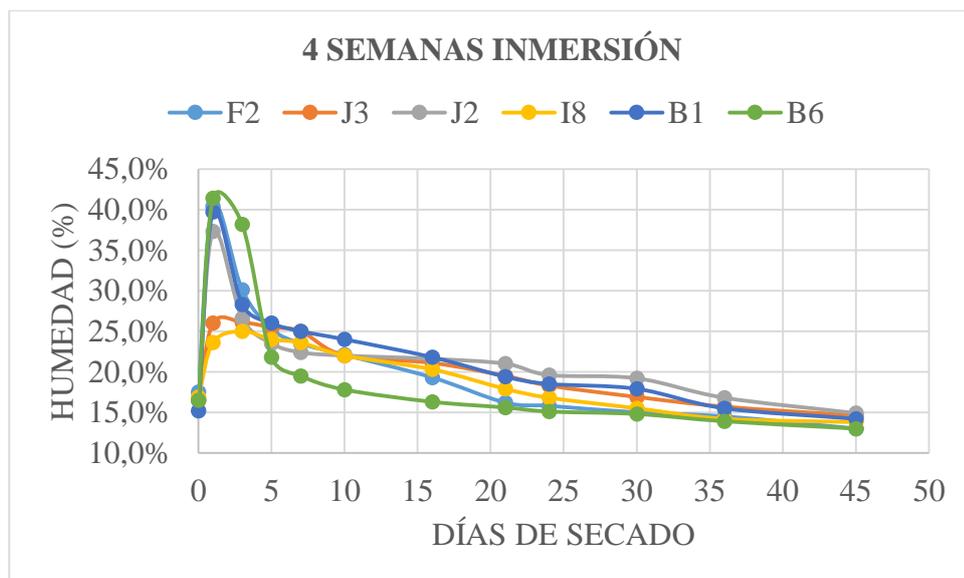


Figura 3.14 Variación de la humedad de cada probeta en 4 semanas de inmersión.

Con las 6 semanas de inmersión la retención inicial de la solución es de 165 gramos lo que no difiere mucho de lo retenido en las 4 semanas, su peso y humedad se normalizan después del día 20 hasta el día 45.

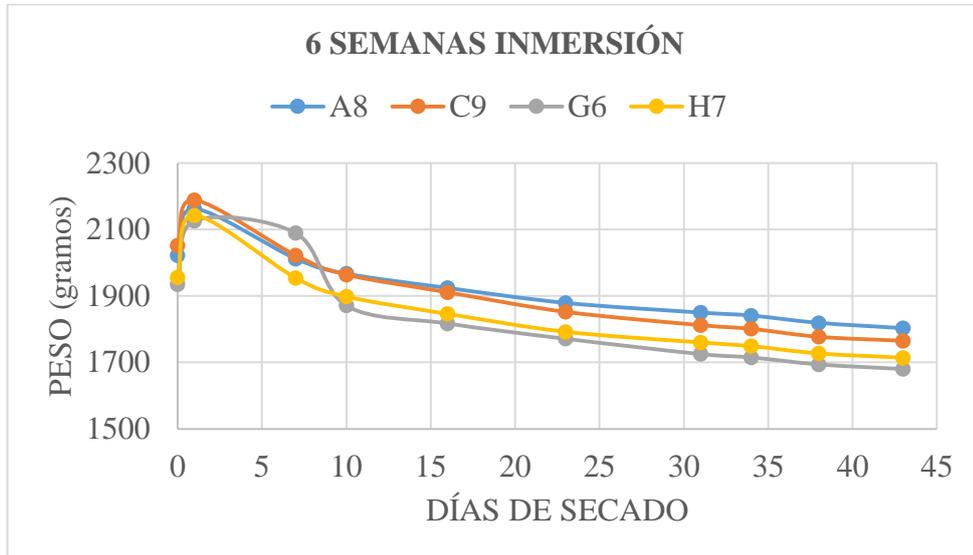


Figura 3.15 Variación del peso de cada probeta en 6 semanas de inmersión.

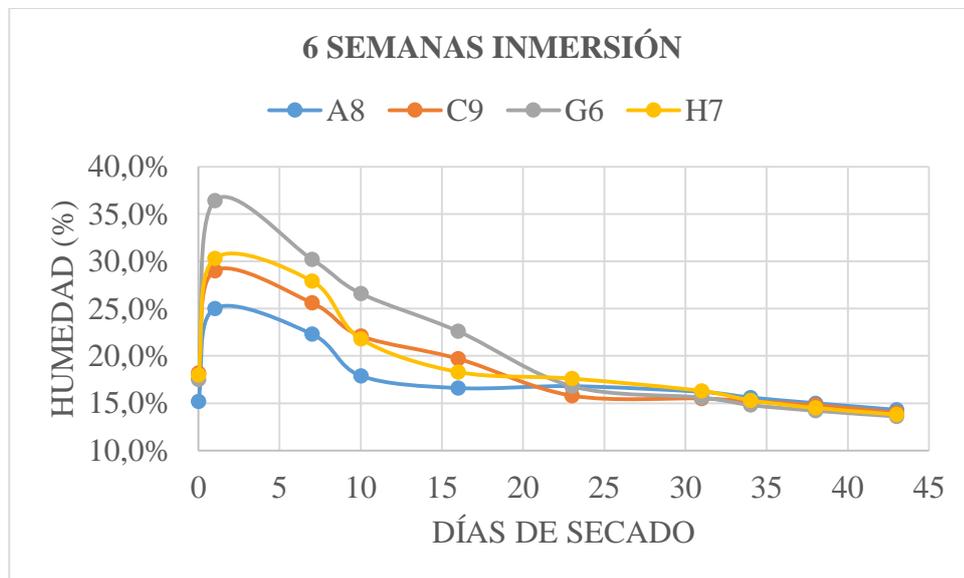


Figura 3.16 Variación de la humedad de cada probeta en 6 semanas de inmersión.

Finalmente, con las 8 semanas de inmersión se logra una retención inicial de la solución de 185 gramos, su peso y humedad se normalizan después del día 20 y varía muy poco hasta el día 45.

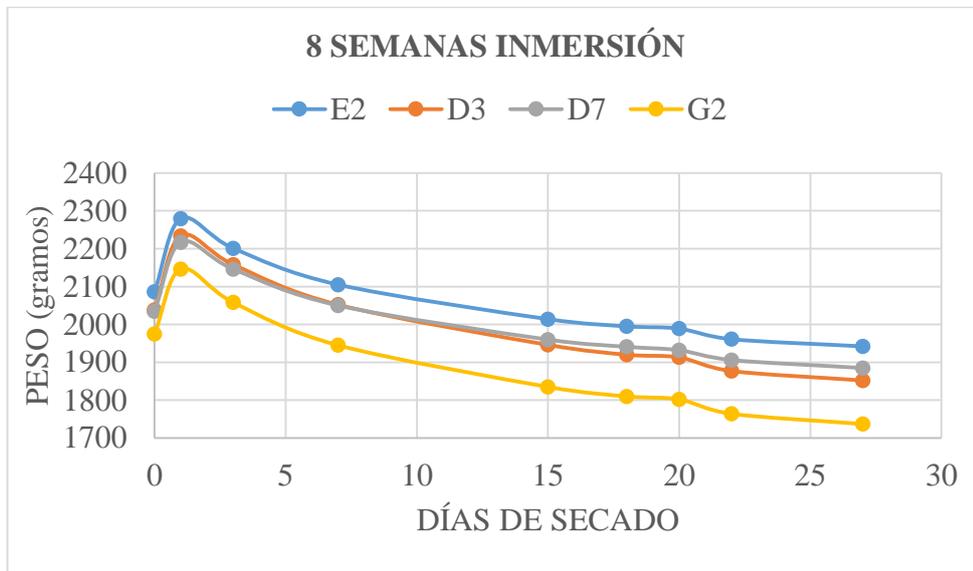


Figura 3.17 Variación del peso de cada probeta en 8 semanas de inmersión.

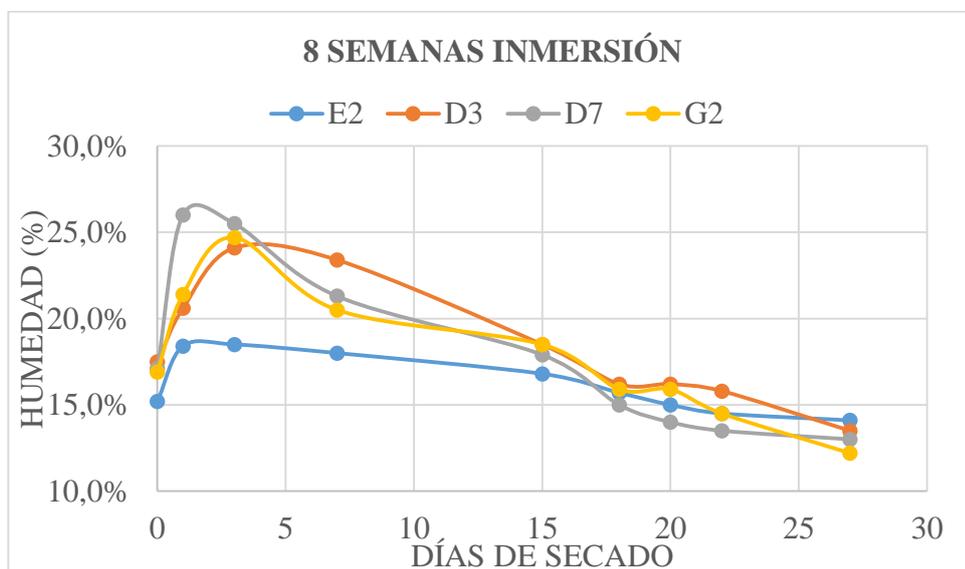


Figura 3.18 Variación de la humedad de cada probeta en 8 semanas de inmersión.

Con los 30 minutos en autoclave la retención inicial de la solución que se logró fue de 87.5 gramos en cada probeta, con una hora de autoclave se logró una retención inicial de la solución de 83.5 gramos, en una hora y media de autoclave se logró una retención inicial de la solución de 96 gramos y en 2 horas se logró una retención inicial de la solución 107 gramos.

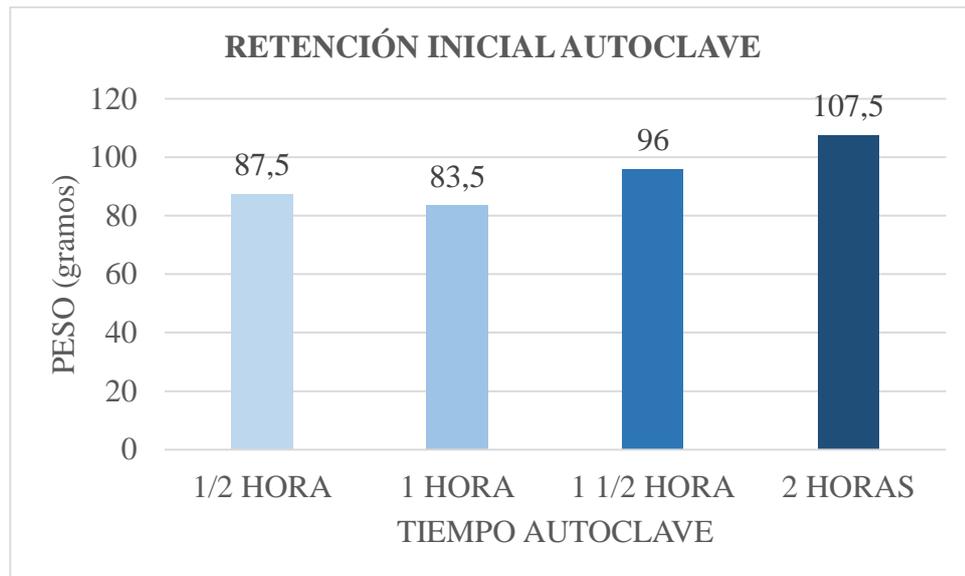


Figura 3.19 Retención inicial del preservante en autoclave

Con los 30 minutos en autoclave la retención inicial de la solución que se logró fue de 87.5 gramos en cada probeta, después de 30 días su peso y humedad se normalizaron se secaron las probetas de forma natural hasta los 50 días.

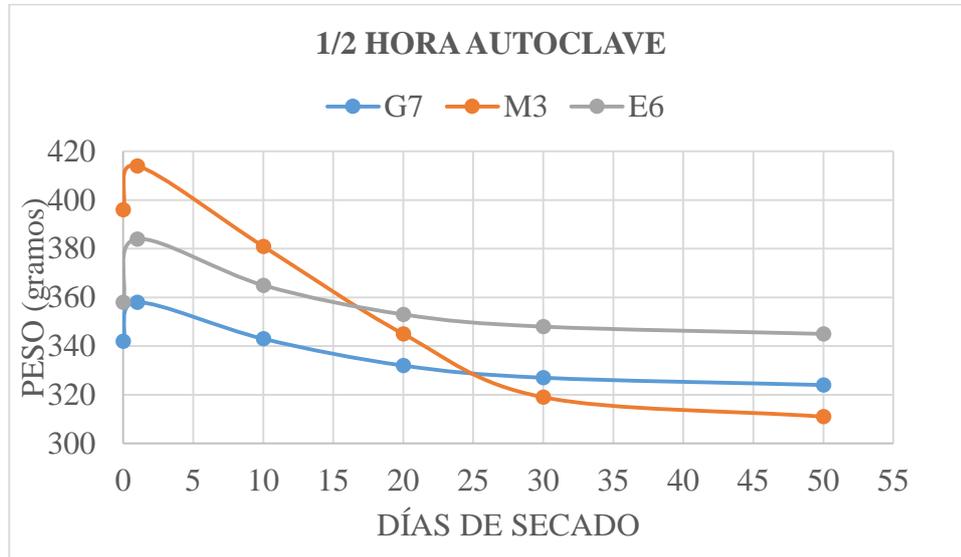


Figura 3.20 Variación del peso de cada probeta en ½ hora en autoclave.

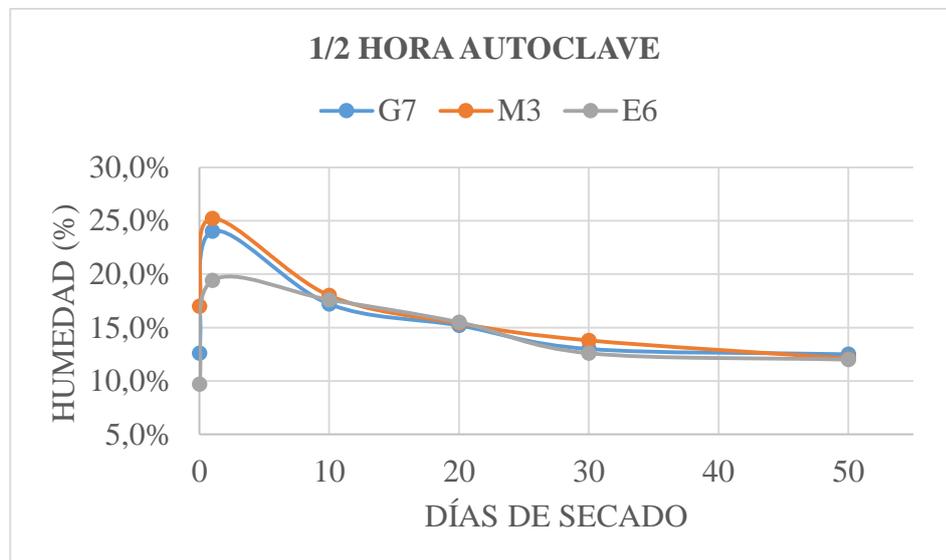


Figura 3.21 Variación de la humedad de cada probeta en ½ hora en autoclave.

Con una hora de autoclave se logró una retención inicial de la solución de 83.5 gramos su peso y humedad se normalizaron a los 30 días sin mayores cambios hasta los 50 días,

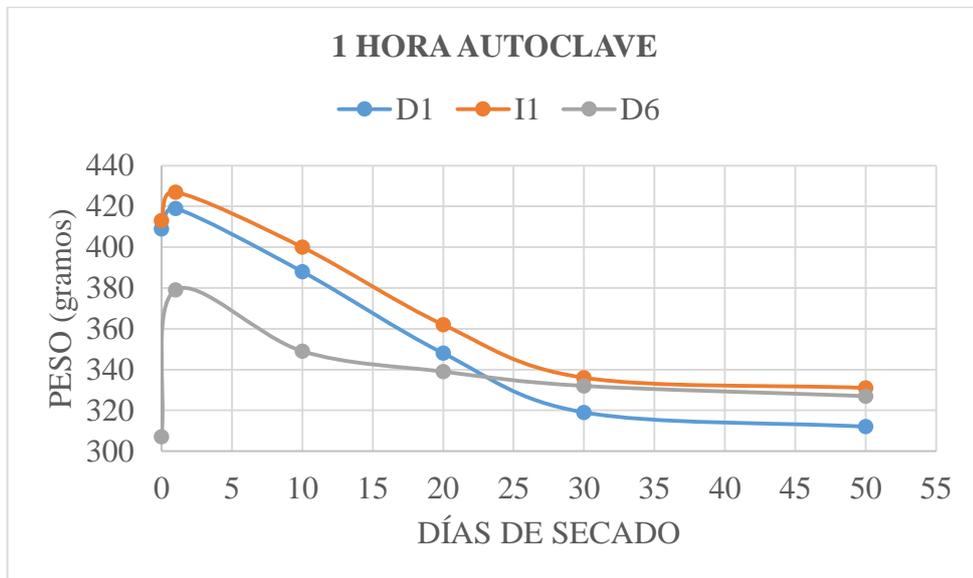


Figura 3.22 Variación del peso de cada probeta en 1 hora en autoclave.

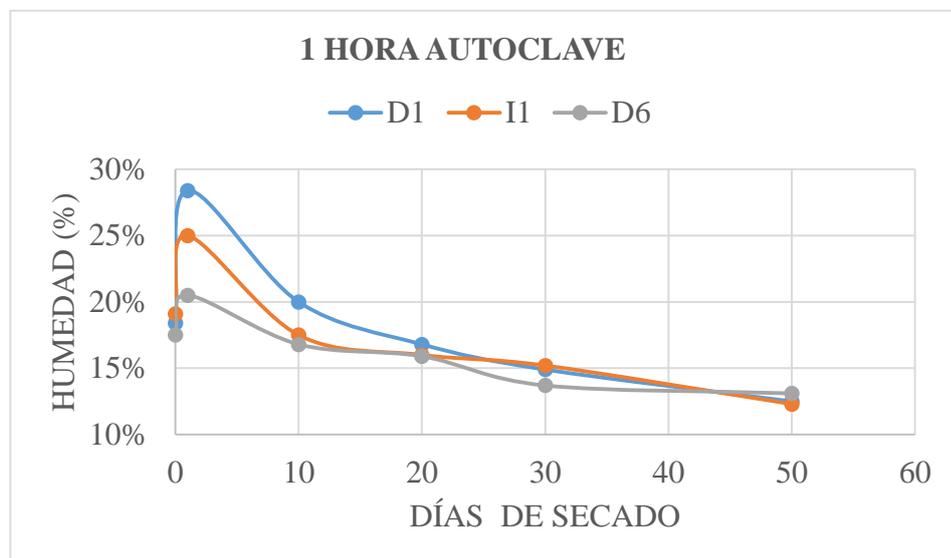


Figura 3.23 Variación de la humedad de cada probeta en 1 hora en autoclave.

En una hora y media de autoclave se logró una retención inicial de la solución de 96 gramos. Su peso y su humedad se normalizaron a los 30 días y se secaron naturalmente hasta los 50 días.

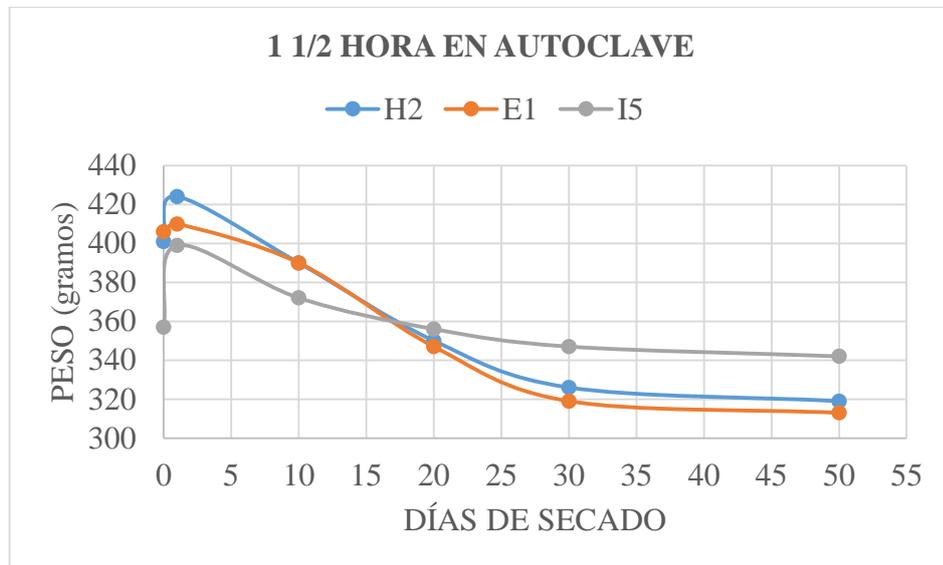


Figura 3.24 Variación del peso de cada probeta en 1 ½ hora en autoclave.

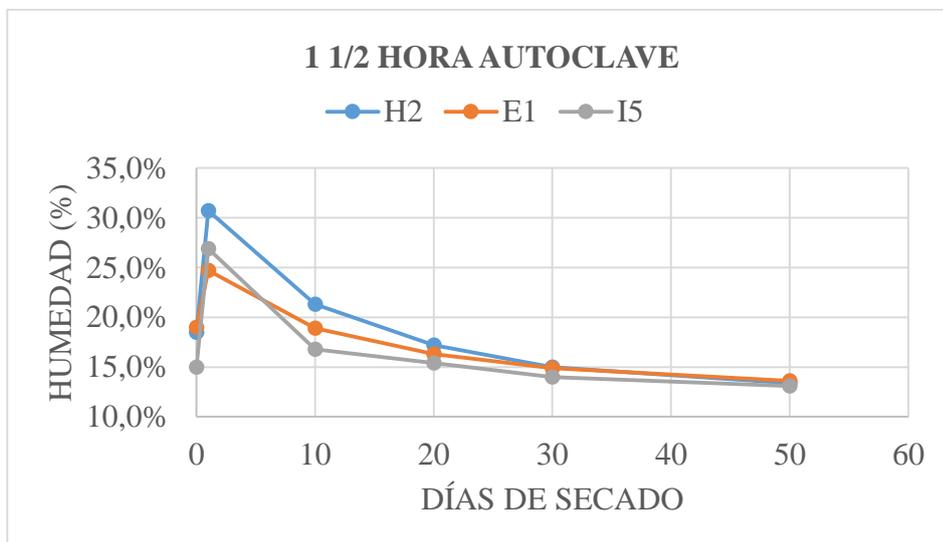


Figura 3.25 Variación de la humedad de cada probeta en 1 ½ hora en autoclave.

En 2 horas se logró una retención inicial de la solución 107 gramos, su peso y humedad se normalizaron a partir del día 30 y se secaron naturalmente hasta el día 50.

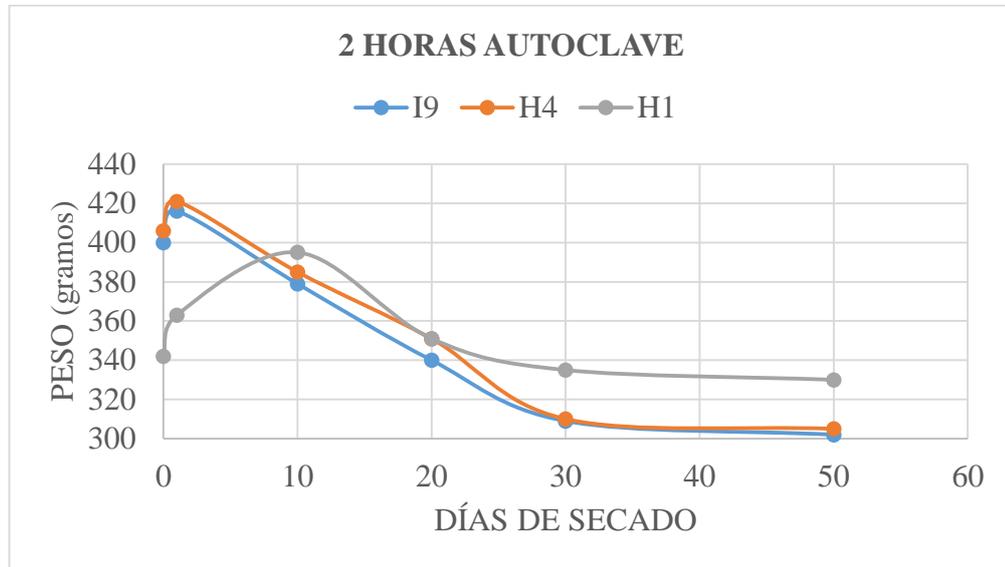


Figura 3.26 Variación del peso de cada probeta en 2 horas en autoclave.

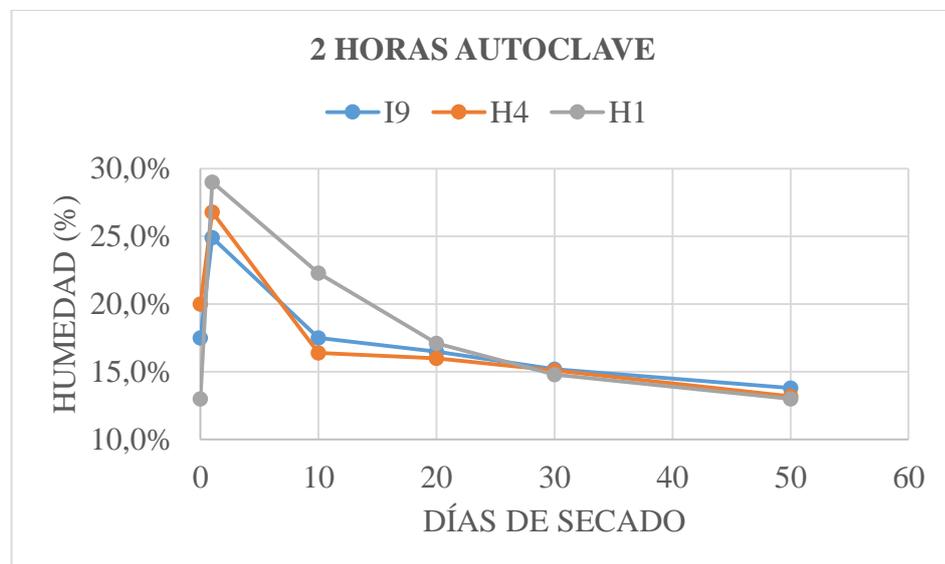


Figura 3.27 Variación de la humedad de cada probeta en 2 horas en autoclave.

Tablas de las resistencias obtenidas de las pruebas de resistencia a la compresión

La resistencia de la madera sin tratamiento o la resistencia natural del eucalipto se encuentra en los 16.85 MPa, los datos de compresión obtenidos revelan que el proceso de pincelado no afecta en nada la resistencia máxima de la probeta de madera ya que su valor 16.46 MPa se encuentra alrededor del promedio.

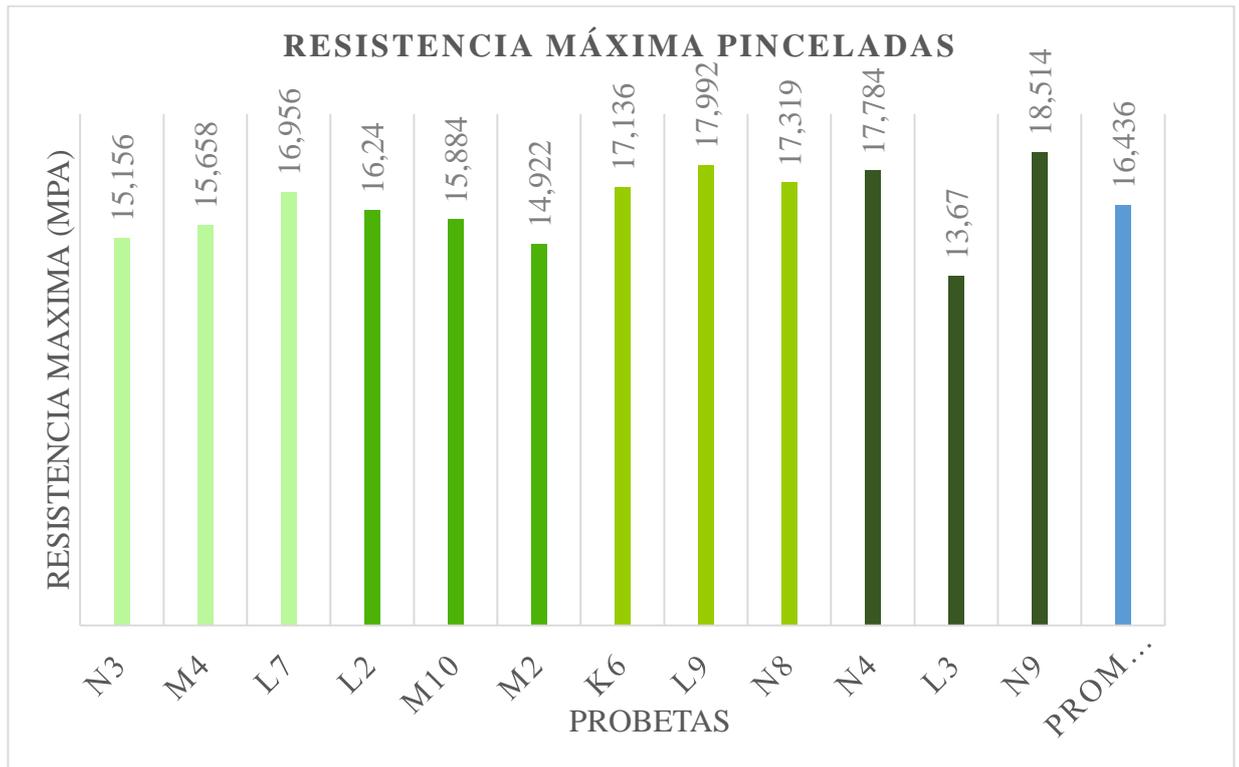


Figura 3.1 Resistencia máxima de probetas con pinceladas.

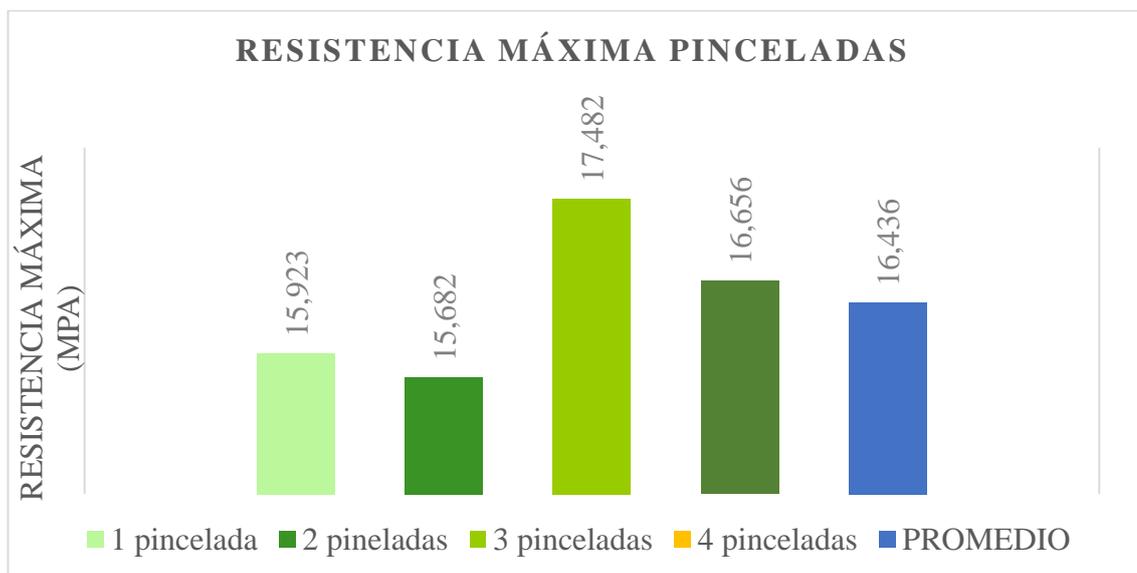


Figura 3.2 Comparación de resistencias de probetas con 1, 2, 3 y 4 pinceladas.

En el proceso de inmersión la resistencia máxima tampoco difiere mucho de la media de la madera sin tratamiento, pero se puede ver que mientras más tiempo se encuentra en inmersión su resistencia disminuye no en gran medida pero aproximadamente 1 MPa en comparación a las 2 semanas con la muestras de 8 semanas se obtuvo una media de 16.57 MPa.

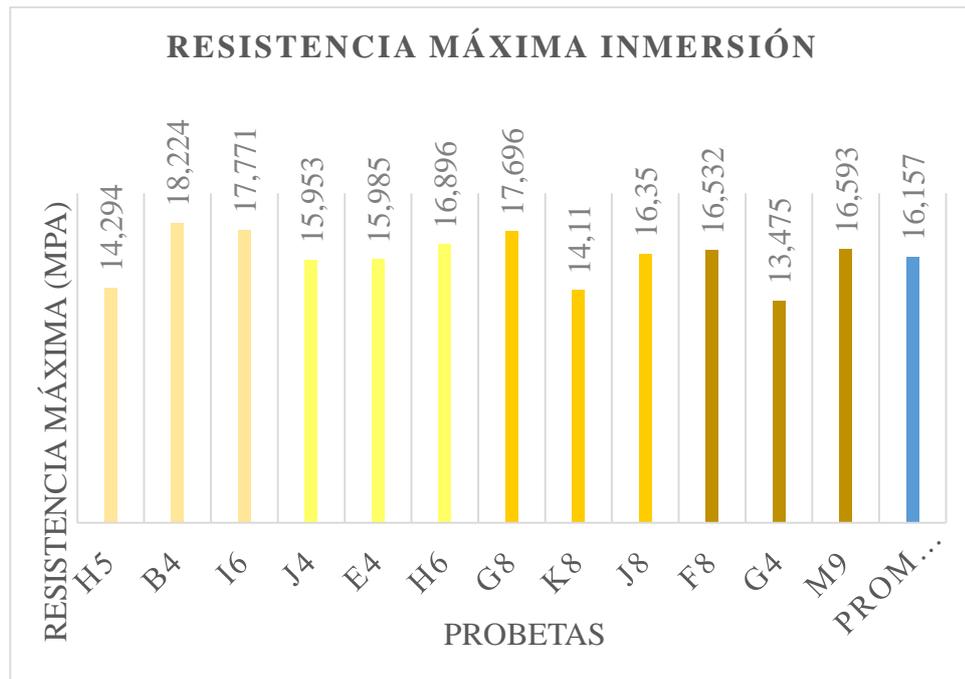


Figura 3.3 Comparación de resistencias de todas las probetas en inmersión.

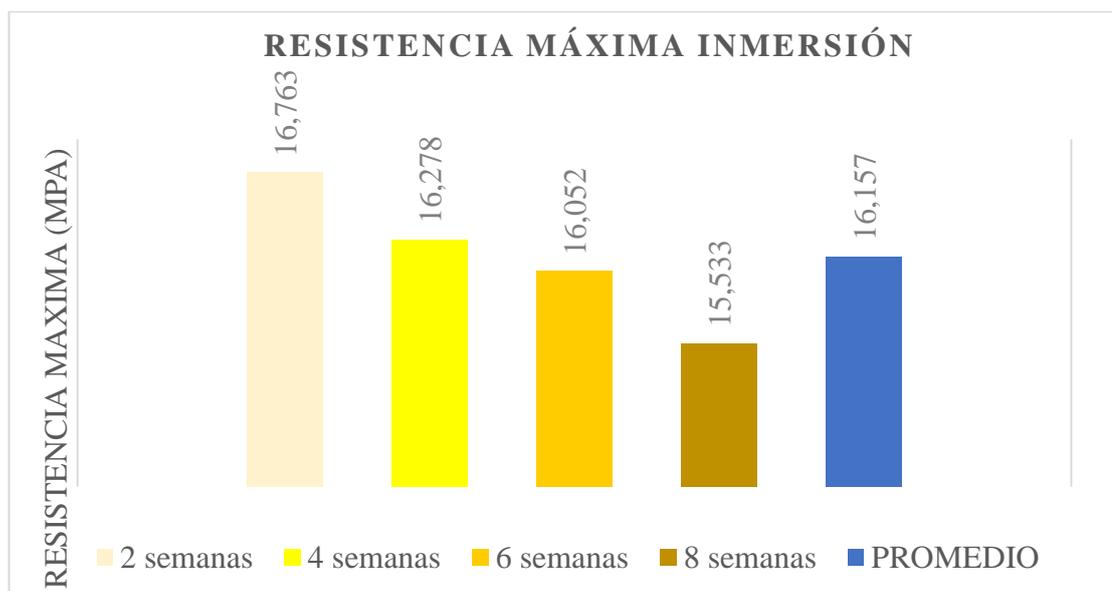


Figura 3.4 Comparación de resistencias de probetas en 2, 4, 6, y 8 semanas en inmersión.

En la autoclave se puede ver que las resistencias obtenidas están en el rango de 18 MPa hasta 25 MPa lo que demuestra un 25% de mejora en la resistencia con respecto a las probetas sin tratamiento. Pero en las 2 horas de autoclave se pudo evidenciar que algunas probetas salían agrietadas.

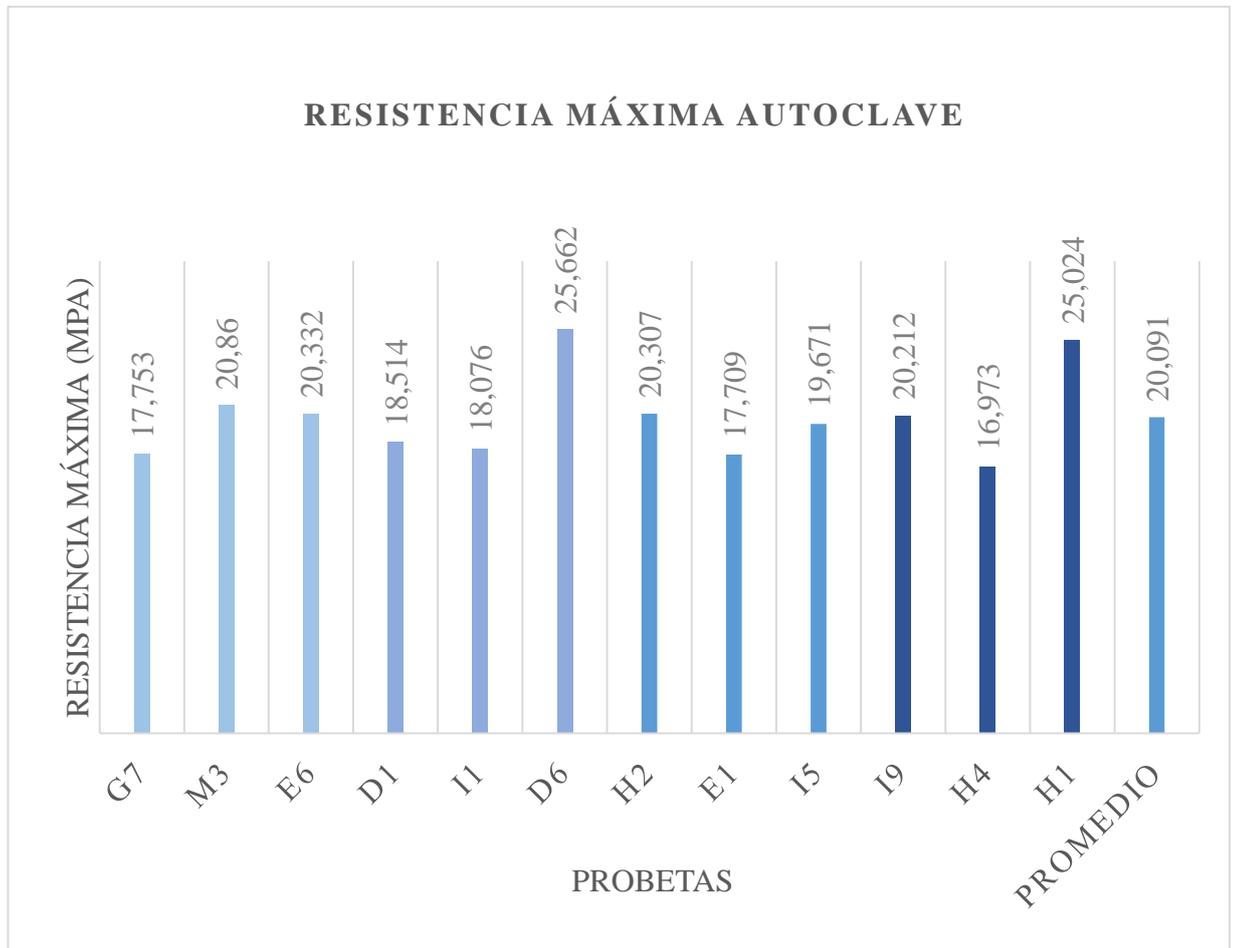


Figura 3.5 Comparación de resistencias de todas las probetas en autoclave.

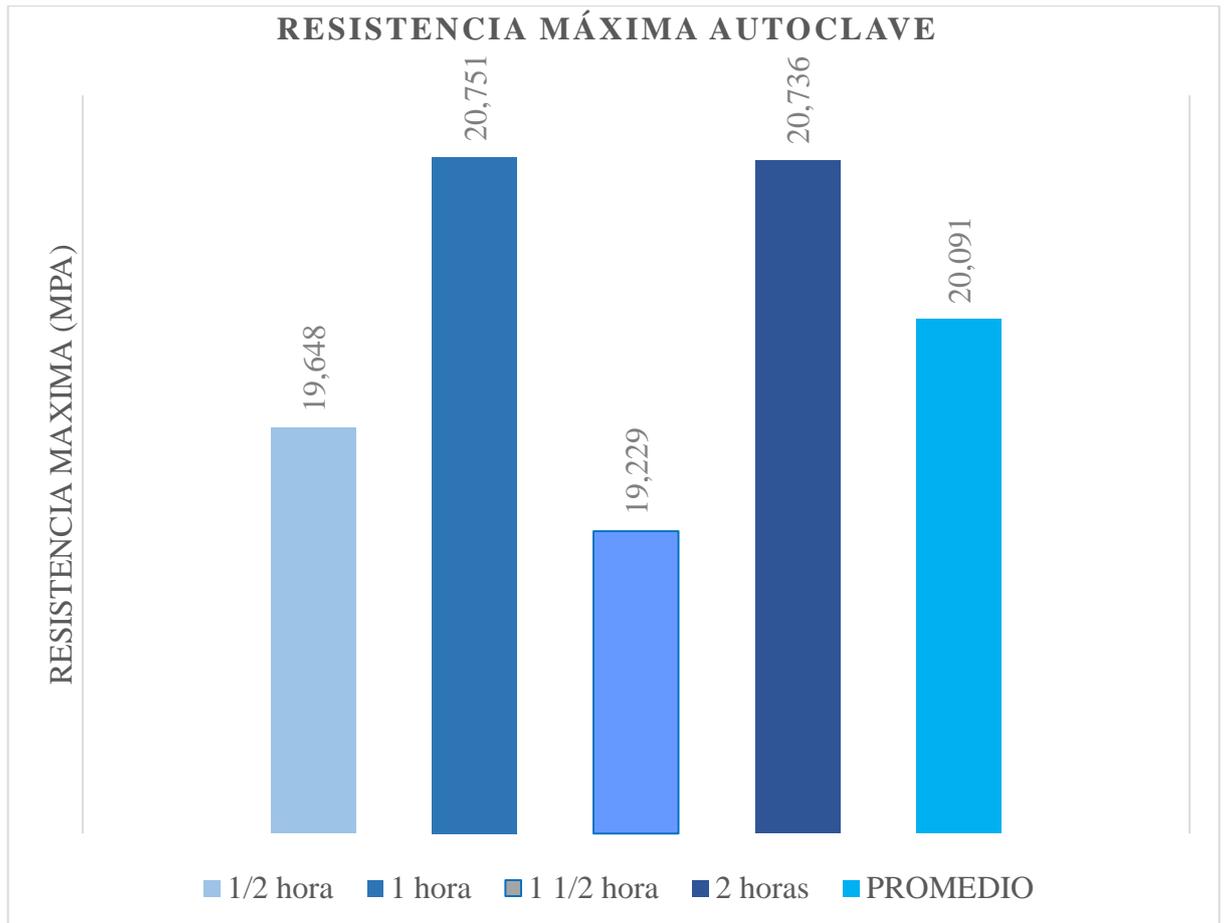


Figura 3.6 Comparación de resistencias de probetas 0.5, 1, 1.5 y 2 horas en autoclave.

Las probetas sin tratamiento se sumergieron en agua durante 2 semanas, se les realizaron las pruebas de resistencia a la compresión y se obtuvo una disminución de la resistencia dando valores de hasta 13.013 MPa. A las muestras con cada tratamiento se les untó breá para protegerlas del agua, en las pinceladas y en la inmersión la resistencia no disminuye, pero en la autoclave se da una disminución del 20.091 hasta el 18.289 MPa.

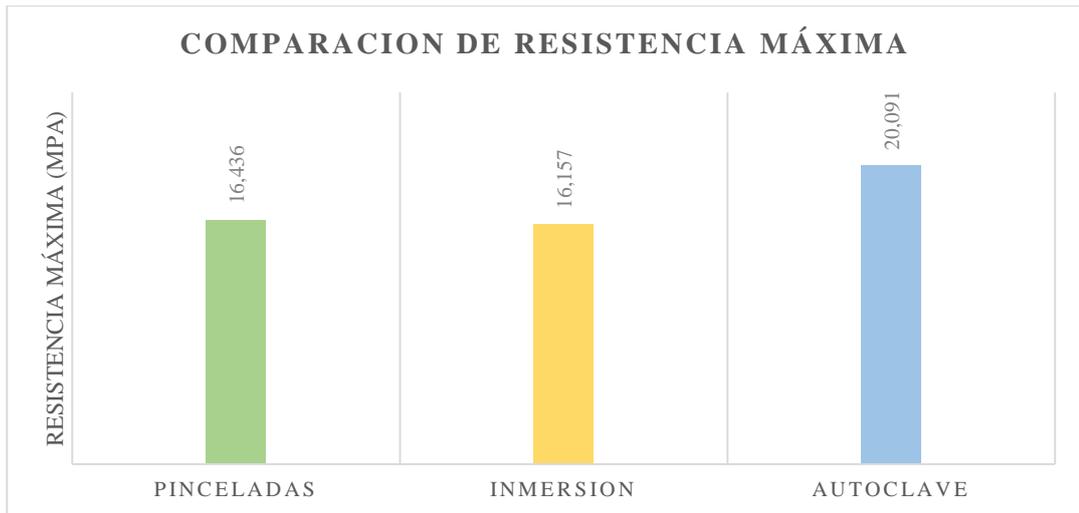


Figura 3.7 Comparación de resistencias entre los procesos de pincelado, inmersión y autoclave.

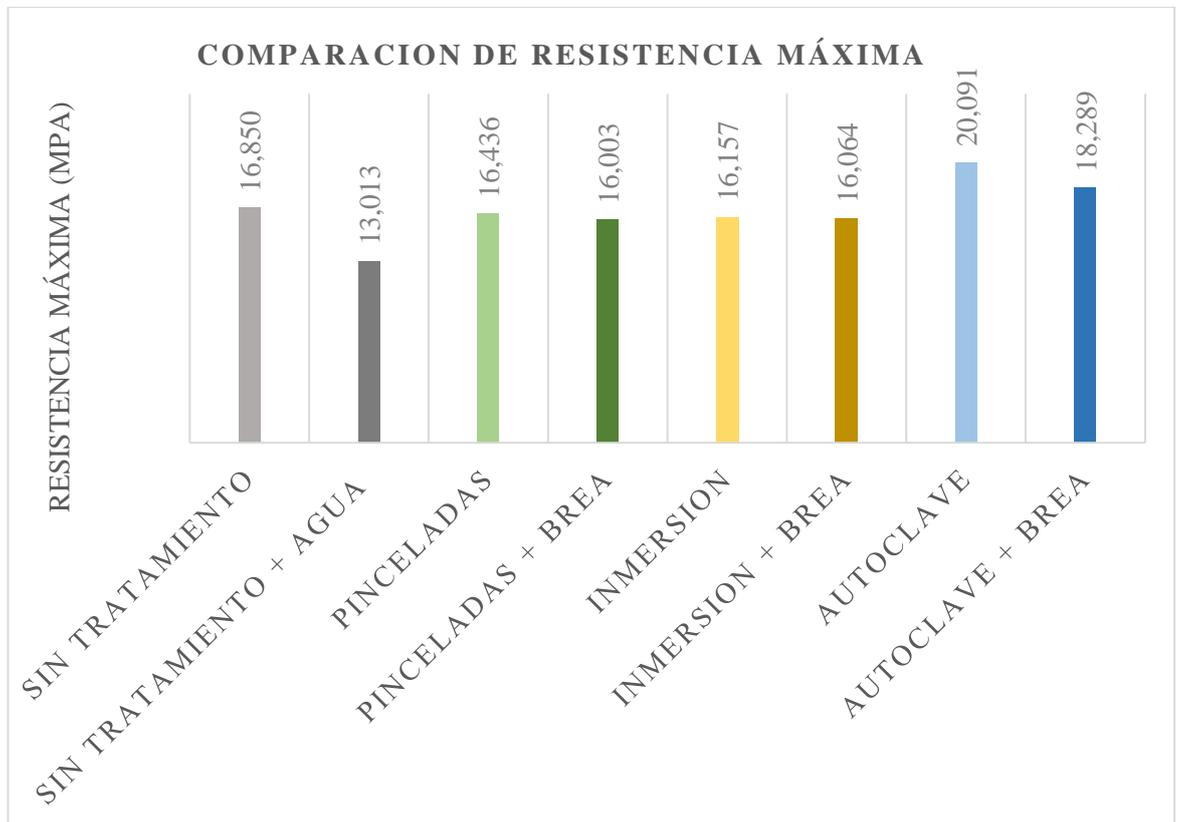


Figura 3.8 Comparación de las resistencias de los procesos de inmersión, compresión, autoclave, sin tratamiento y con brea.

Penetración del Preservante:

Las penetraciones del preservante actuaron de manera diferente dependiendo de cada variable; con las pinceladas no se obtuvo una penetración considerable, apenas 0.5 mm en la primera pincelada y 1 mm en las 2,3 y4 pinceladas.

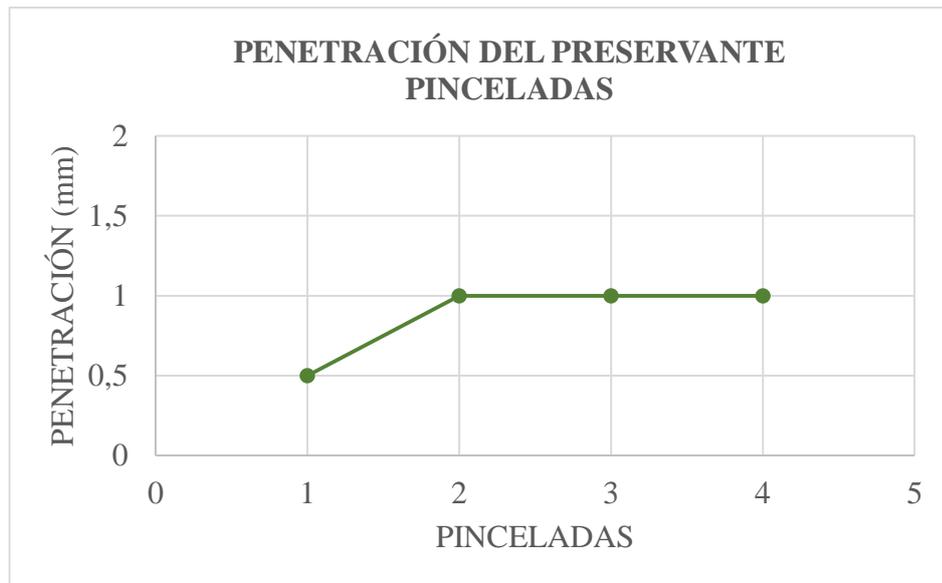


Figura 3.9 Penetración del preservante con el método de pinceladas.

Con el método de inmersión se lograron penetraciones de 10 milímetros en 2 semanas de inmersión y de 20 mm en 4, 6, 8 semanas de inmersión.

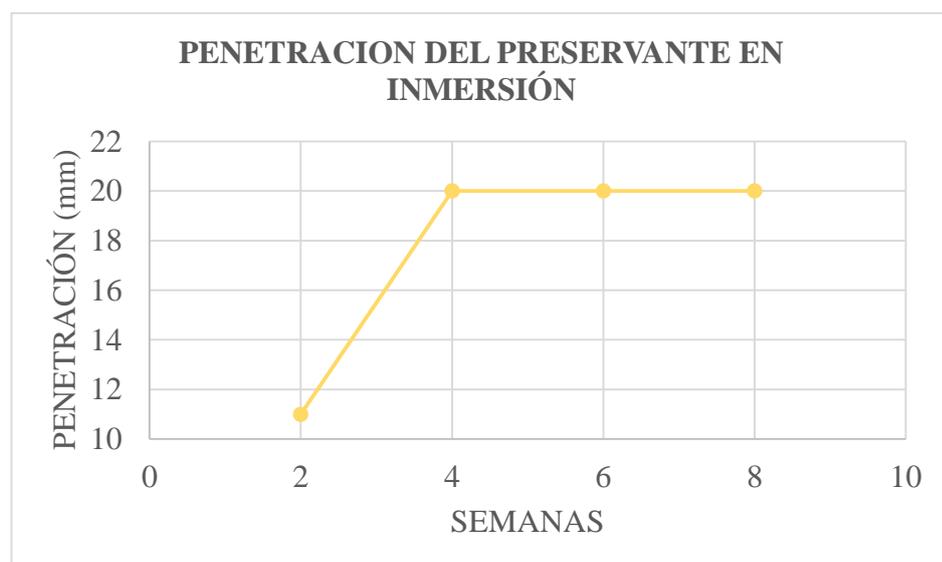


Figura 3.10 Penetración del preservante con el método de inmersión.

Con la autoclave se obtuvo penetraciones menores que la inmersión, en 30 minutos de autoclave se logró 2 milímetros de penetración, con 1 hora de autoclave se logró 5 milímetros; y en 1.5 horas y 2 horas se logró 6 milímetros de penetración.

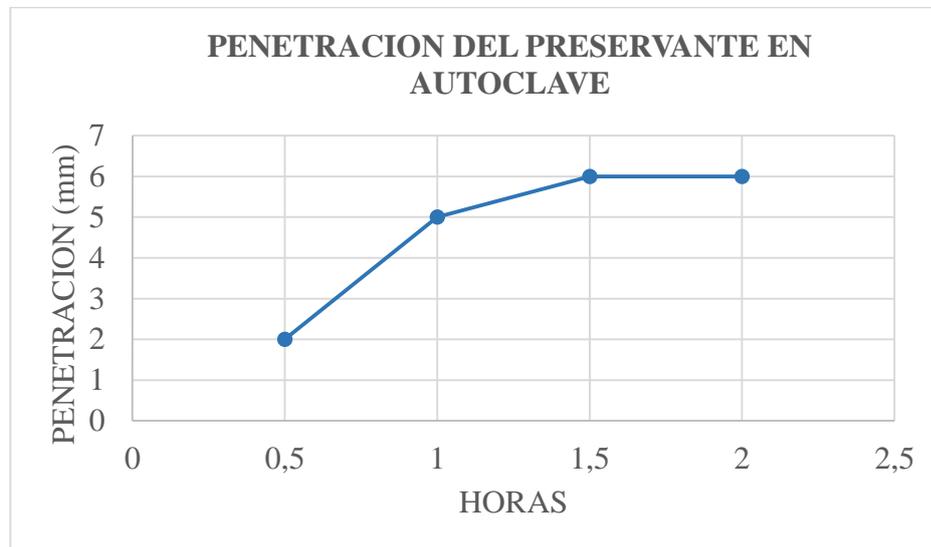


Figura 3.11 Penetración del preservante con el método de autoclave.

Observación en el microscopio

Con el microscopio se puede ver claramente que la penetración del preservante que se presenta en un tono oscuro, los cortes longitudinales de cada probeta son muy reveladores en cuanto a longitud de penetración se trata, pero el corte transversal nos muestra de qué forma se encuentra dispuesto el preservante dentro de la probeta de madera, véase anexo 1. Después del tratamiento de pinceladas e inmersión no se nota cambios estructurales de la madera ya que no penetran lo suficiente en las probetas, pero después de los procesos de inmersión y autoclave la madera difiere en color de la madera natural. En las probetas sometidas a autoclave se puede observar que sus fibras se encuentran más juntas que las fibras de pinceladas e inmersión, la distribución del preservante dentro de las probetas de pinceladas no se evidencia en los absoluto, mientras que en las de inmersión se puede ver que el preservante se encuentra presente de manera uniforme en cada conducto de las fibras, la distribución del preservante en

el método de autoclave es difuso y se concentra más en el centro de cada probeta, donde se ve halos oscuros de preservante véase en anexos 3 y 4 .

En algunos lugares de la madera especialmente en las probetas sometidas a autoclave se puede ver la acumulación de preservante en forma de cristales, véase anexo 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Después de haber realizado este trabajo determinamos que el proceso de impregnación del preservante con autoclave mejoró la resistencia a la compresión uniaxial en un 25% llegando a resistencias máximas de hasta 25 MPa. Y además que es suficiente con 1 hora de impregnación ya que con 1 ½ y 2 horas los valores de la resistencia se mantienen.
- El proceso de inmersión provoca una caída del 7.3 % de resistencia a la compresión en las probetas de 8 semanas en inmersión en comparación con las de 2 semanas. Por lo que podemos decir que, a mayor tiempo en inmersión, disminuirá su resistencia a la compresión.
- El proceso de pinceladas no afecta en lo absoluto las propiedades de la madera, desde la primera pincelada hasta la última pincelada los valores de la resistencia a la compresión uniaxial y el color, no cambia, así como no presenta importantes retenciones de preservante.
- Ninguno de los procesos de pinceladas e inmersión para impregnar el preservante aumentan la resistencia a la compresión uniaxial.
- No se lograron importantes retenciones iniciales con el método de pinceladas, apenas de 2 a 4 gramos, por lo que es suficiente con 2 pinceladas, ya que con 3 y 4 su retención inicial de la solución no aumenta.
- La retención inicial lograda con la inmersión es mayor a la retención lograda con la autoclave, las retenciones logradas con ½ hora, 1 hora, 1 ½ y 2 horas fueron de 87.5, 83.5, 96, 107.5 gramos, respectivamente mientras que las retenciones con 2, 4, 6 y 8 semanas de inmersión fueron 136.3, 173.5, 163.3, 185.5 gramos respectivamente.
- Con respecto la penetración del preservante las pinceladas no lograron más de 1 milímetro de profundidad, la autoclave logró en 30 minutos una profundidad de 2 milímetros, en 1 hora 5 milímetros y en 1 ½ y 2 horas 6 milímetros, por lo que es suficiente con mantener las probetas en 1 hora en autoclave. Mientras que la penetración mediante inmersión se alcanzó, en 2 semanas una

penetración de 10 milímetros y en 4, 6 y 8 semanas 20 milímetros, por lo que es suficiente con 4 semanas de inmersión.

- Después de haber analizado todas las variables podemos concluir el método de las pinceladas pierde efecto desde la segunda pincelada, no tiene importantes retenciones, su penetración es despreciable y no favorece ni perjudica su resistencia a la compresión uniaxial.
- El método de inmersión con 4 semanas es el que mejor penetración muestra alcanzando su mayor profundidad (20 milímetros); en este tiempo no disminuye ni aumenta su resistencia a la compresión uniaxial, y logró una retención inicial de 173.5 gramos.
- El mejor proceso de impregnación de preservante es en autoclave durante 1 hora ya que aumentó la resistencia la compresión uniaxial, su penetración es de 5 milímetros y su retención inicial de preservante fue de al menos 80 gramos. Con lo que la autoclave durante 1 hora cumple con lo requerido además es de rápida aplicación su secado dura aproximadamente 50 días casi el mismo tiempo que las probetas en inmersión.
- Además con el proceso de 1 hora de autoclave se asegura una durabilidad de aproximadamente 20 años, (Piqué, 1984), lo que evitaría que la madera usada dentro de las fortificaciones sea retirada cada 3 o 4 años como se acostumbra.

Recomendaciones

- No dejar las probetas más de 1 hora en autoclave ya que se evidenciaron deformaciones en la madera.
- Los datos proporcionados corresponden a la resistencia a la compresión uniaxial, mas no a ninguna otra resistencia.
- Se debe profundizar más en la investigación, tomando en cuenta diferentes factores, como otro tipo de preservantes o diferentes métodos de impregnación.
- Analizar los efectos a largo plazo que tiene el preservante en las probetas con cada método de impregnación.
- Evitar el uso de clavos o tornillos en la madera ya en las pruebas de compresión se vio que las probetas fallaban por donde se encontraban los agujeros.

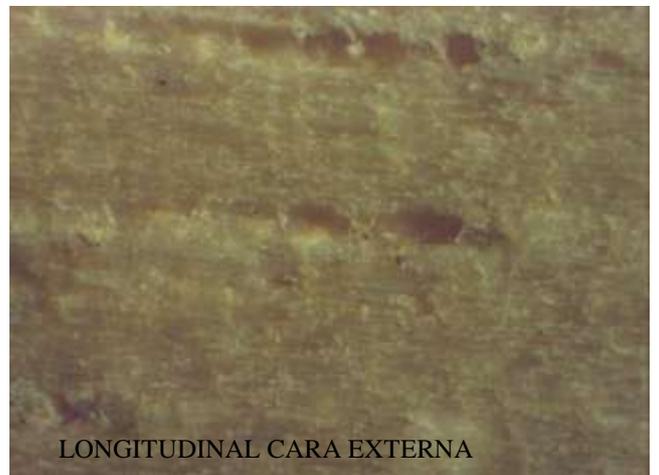
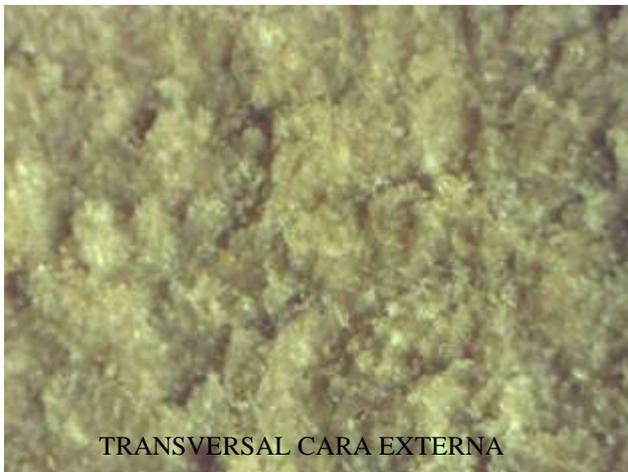
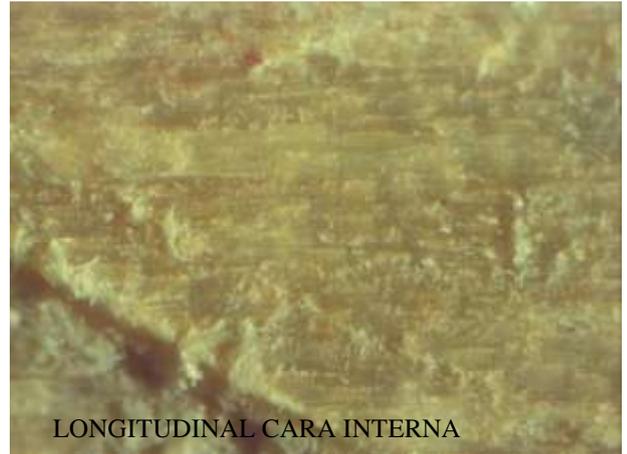
BIBLIOGRAFÍA

- ACHS. (2002). Ácido bórico: Hoja de datos de seguridad. Obtenido de <http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acido%20borico.pdf>
- Aguilar, J. (s.f.). Materiales y Materias primas.
- Aguilar, J., & Guzowski, E. (2011). Madera. En Guía Didáctica de Materiales y Materias primas . Buenos Aires. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>
- Beer , F., Johnston, R., Mazurek, D., & Eisenberg, E. (2010). Mecánica Vectorial para Ingenieros. México: McGraw - Hill/Interamericana editores, S.a. de C.V.
- Bierling, P. (1994). El Trabajo en la madera. Carpintería básica . Madrid: Susaeta ediciones, S. A.
- Cemal, B. E. (1982). Características ingenieriles de la madera usada en las minas. En B. E. Cemal. Estambul: Limusa, S.A.,.
- Cianciarulo, T., & Llambías, M. E. (2013). Tesis de construcción de madera. Preservación de la madera. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
- Erquicia, J. A. (2014). Estructuras de Madera. Dirección de Comunicación Social MIDUVI.
- Frosch, C. (2011). Frope CCB. 8.
- Garrido, J. J. (2010). La Madera y Materiales derivados de la fabricación de soportes artísticos: Aportación Cultural y Estética. Madrid.
- Garrido, J. J. (2010). La Madera y Materiales derivados en la fabricación de soportes artísticos: Aportación Estructural y Estética. Madrid.
- GTM, G. T. (Agosto de 2014). Dicromato de Sodio. Obtenido de <http://www.gtm.net/images/industrial/d/DICROMATO%20DE%20SODIO.pdf>
- GTM, G. T. (Mayo de 2017). Sulfato de Cobre. Obtenido de GTM: <http://www.gtm.net/images/industrial/s/SULFATO%20DE%20COBRE.pdf>
- INEN. (2015). Estructuras de Madera. En Código de práctica Ecuatoriano.
- Peña, S. V., Gerard, J., Molinero Marínez, I., & Díez Barra, M. (1996). Estudio de las tensiones de crecimiento del Eucaliptus Globulus en Galicia.

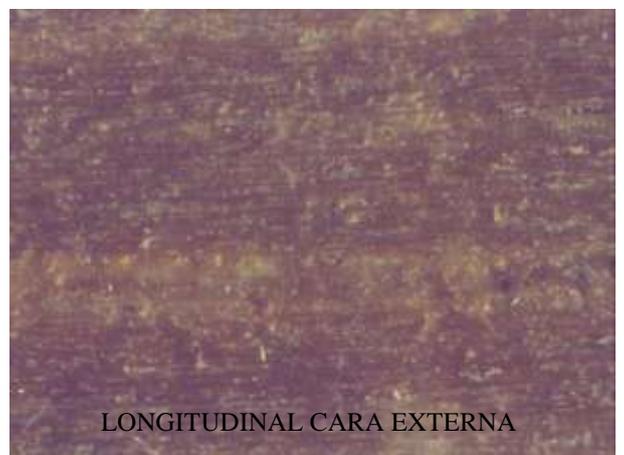
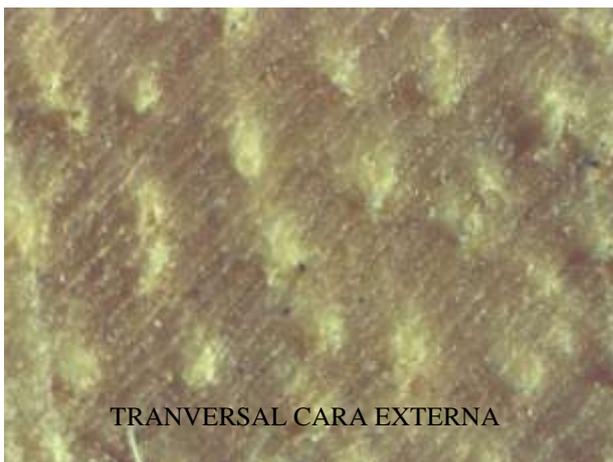
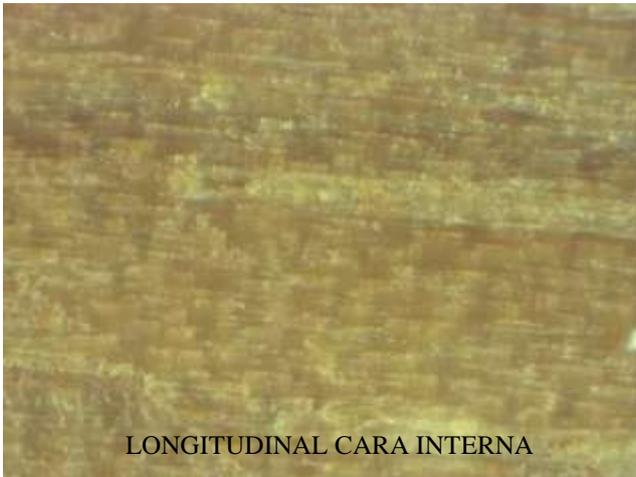
- Pérez, Á. (Septiembre de 2014). Máster en Ingeniería de Montes. Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Piqué, J. (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. COPYRIGHT.
- Vaca, R. (Febrero de 1998). Técnicas para la preservación de maderas. Santa Cruz, Bolivia: USAID.
- Vinueza, I. M. (28 de 08 de 2012). Ecuador Forestal. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-6-guayacan/>
- Vinueza, I. M. (28 de 10 de 2012). Ecuador Forestal. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-6-guayacan/>
- Vinueza, I. M. (23 de 07 de 2013). Ecuador Forestal. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>

ANEXOS

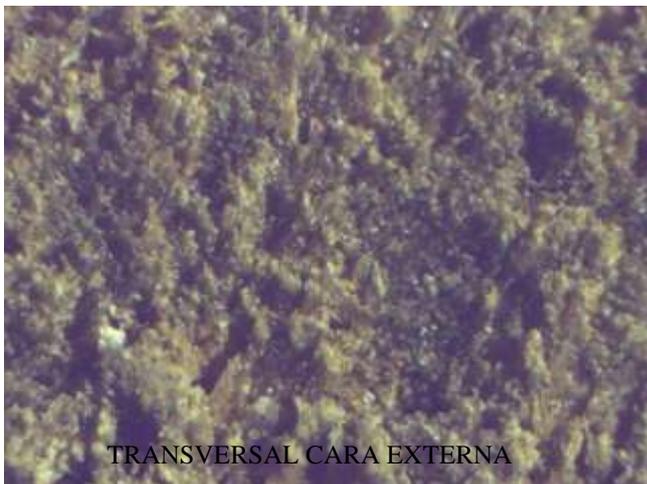
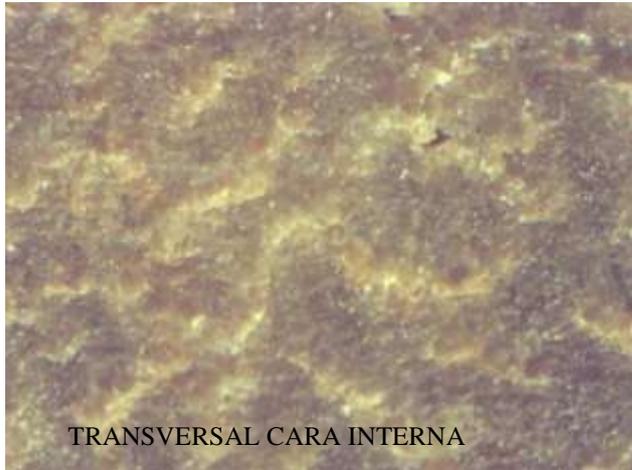
Anexo 1 Corte transversal y longitudinal de probeta sin tratamiento.



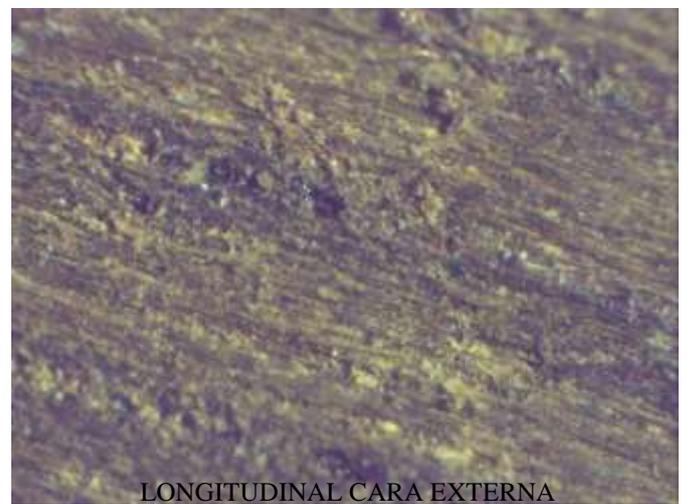
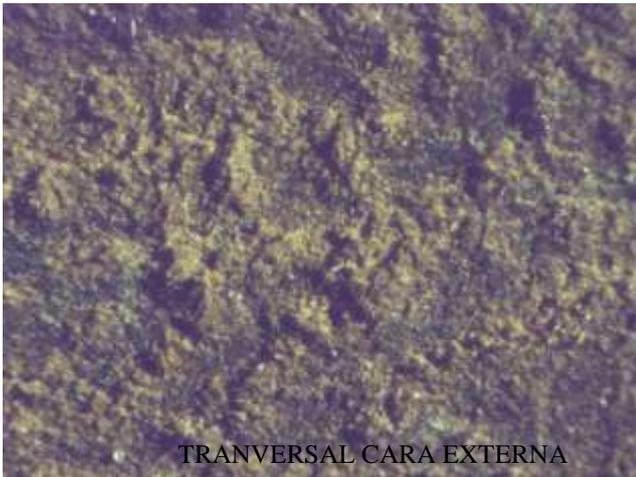
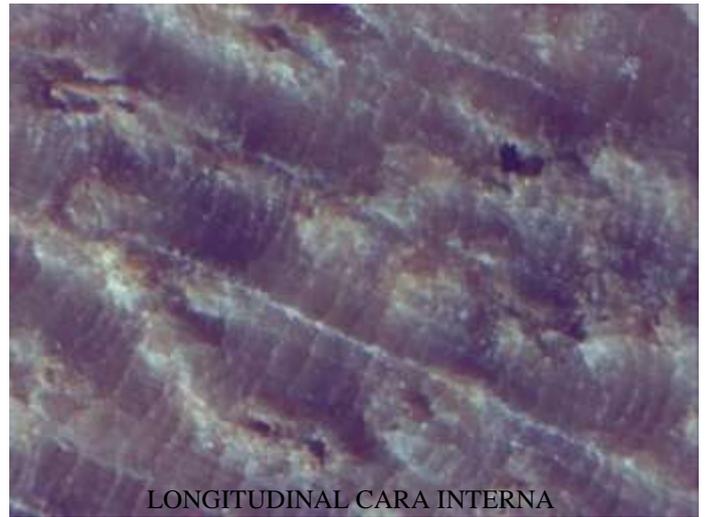
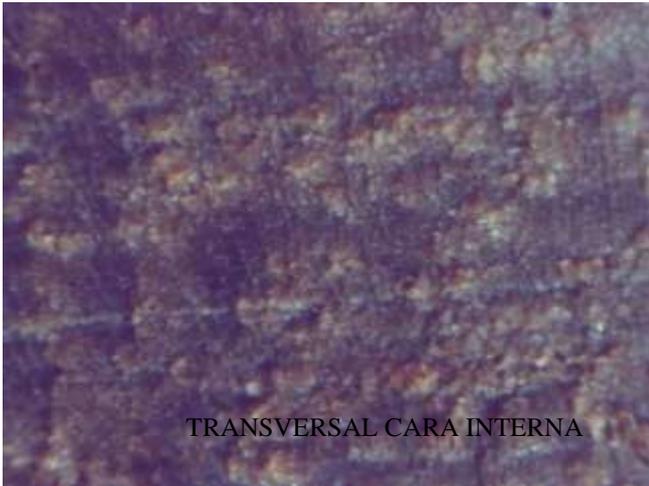
Anexo 2 Corte longitudinal y transversal de la probeta con pinceladas.



Anexo 3 Corte trasversal y longitudinal de las probetas en inmersión.



Anexo 4 Corte transversal y longitudinal de las probetas en autoclave.



Anexo 5 Acumulación de preservante.

