UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

“Alternativas del uso de maderas en fortificación minera bajo diferentes condiciones de humedad.”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

CARMEN ANAÍS RIVERA URGILÉS

Director:

ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Fátima, que siempre han sabido apoyarme y motivarme para seguir adelante a pesar de todas las dificultades de la vida.

A mis hermanos María José y Walter por siempre estar junto a mí y cuando más los he necesitado.

A mis abuelos, Rina, Benigno e Irene, ustedes son mi ejemplo de valentía, superación, amor y unión.

Les amo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza necesaria para seguir viva.

A mis padres que nunca dejaron de luchar, apoyarme, darme amor y buen ejemplo para alcanzar mis metas.

A mis maestros de la Universidad del Azuay que durante mis años de estudio supieron impartirme enseñanzas y conocimientos suficientes para ejercer mi carrera y ser una profesional responsable y con principios. Quiero agradecer especialmente al Ingeniero Patricio Feijoo, mi director de tesis; por la paciencia, apoyo y guía para la realización del presente trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

ÍNDICE DE CONTENIDOS iv

ÍNDICE DE FIGURAS vi

ÍNDICE DE TABLAS viii

ÍNDICE DE ANEXOS x

RESUMEN xi

ABSTRACT xii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 3

1.1 Fortificación en Minas 3

1.1.1 Tipos de fortificación 4

1.1.2 Clasificación de las fortificaciones usadas en minas 5

1.2 Características Generales de las maderas usadas en fortificación 9

1.3 Propiedades de las Maderas usadas en fortificación 13

1.3.1 Propiedades mecánicas de la madera 17

1.3.2 Resistencia a la compresión simple de las maderas 20

1.4 Humedad 21

1.4.1 Cálculo del contenido de humedad 22

1.5 Influencia de la Humedad 23

1.6 Resistencia a la compresión simple de materiales 24

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 25

2.1 Ubicación Geográfica 25
2.2 Clima 25
2.3 Geología 26
2.3.1 Geología Regional 26
2.3.2 Geología Local 27
2.4 Tipos de maderas que se usan en la fortificación 27
2.4.1 Palo Rosa 27
2.4.2 Pino 28
2.4.3 Guayacán 28
2.4.4 Eucalipto 28

CAPÍTULO III: DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN 29
3.1 Descripción de Muestras 29
3.2 Descripción de Métodos de Experimentación 36
3.2.1 Ejecución experimental de las muestras 36
3.2.2 Análisis de muestras 38
3.3 Interpretación de resultados 38
3.3.1 Gráficas de resultados 42

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 48
BIBLIOGRAFÍA 51
ANEXOS 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fortificación con madera 5
Figura 1.2. Fortificación con marcos de acero 5
Figura 1.3. Defecto de Cuña en la roca 6
Figura 1.4. Colocación de pernos en Cuña 7
Figura 1.5. Pernos aplicados en Viga 7
Figura 1.6. Pernos en Columna 8
Figura 1.7. Fortificación con malla 9
Figura 1.8. Shotcrete 9
Figura 1.9. Componentes de la madera 10
Figura 1.10. Estructura de un Marco de Madera 12
Figura 1.11. Defectos de la madera 13
Figura 1.12. Relación de la densidad de la madera con respecto a su resistencia 15
Figura 1.13. Compresión de la madera. 18
Figura 1.14. Flexión de la madera 18
Figura 1.15. Pandeo de la madera 19
Figura 1.16. Resistencia al corte 19
Figura 1.17. Relación entre la resistencia a la compresión de la madera de Pino y el ángulo de fibra 21
Figura 1.18. Relación entre la resistencia a la compresión simple y el contenido de humedad 23
Figura 1.19. Prensa de compresión simple 24
Figura 2.1. Mapa de ubicación del cantón Camilo Ponce Enríquez 25
Figura 2.2. Mapa Geológico de la provincia del Azuay 26
Figura 2.3. Geología del cantón Camilo Ponce Enríquez 27
Figura 3.1. Muestra de Eucalipto usada en fortificación 41
Figura 3.2. Relación entre RCU y % Humedad de E1, P1 y T1 42
Figura 3.3. Relación entre la RCU y %Humedad de E2, P2 y T2. 43
Figura 3.4. Relación entre la RCU y % Humedad de E3, P3 y T3. 43
Figura 3.5. Relación entre la RCU y % Humedad de E4, P4 y T4 44
Figura 3.6. Relación entre la RCU y % Humedad de E5, P5 y T5 44

Figura 3.7. Incremento del contenido de Humedad en el Eucalipto. 45
Figura 3.8. Incremento del contenido de Humedad en el Pino 45
Figura 3.9. Incremento del contenido de Humedad en la Teca. 46
Figura 3.10. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en el Eucalipto. 46
Figura 3.11. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en el Pino. 47
Figura 3.12. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en la Teca. 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Pérdidas de dimensiones según tipo de corte con porcentaje de humedad. 15
Tabla 1.2. Valores para Dureza Brinell y Janka..... 16
Tabla 1.3. Valores de la dureza de diversos tipos de madera 17
Tabla 1.4 Resistencia de distintas clases de madera. 20
Tabla 1.5. Resistencia de la madera con respecto a otros materiales..... 20
Tabla 1.6. Porcentaje de Humedad en la madera de acuerdo a la Humedad Relativa. 22
Tabla 3.1. Características de la muestra 1…….. ...30
Tabla 3.2. Características de la muestra 2..... 30
Tabla 3.3. Características de la muestra 3..... 30
Tabla 3.4. Características de la muestra 4..... 31
Tabla 3.5. Características de la muestra 5..... 31
Tabla 3.6. Características de la muestra 6..... 31
Tabla 3.7. Características de la muestra 7..... 32
Tabla 3.8. Características de la muestra 8..... 32
Tabla 3.9. Características de la muestra 9..... 32
Tabla 3.10. Características de la muestra 10..... 33
Tabla 3.11. Características de la muestra 11..... 33
Tabla 3.12. Características de la muestra 12..... 33
Tabla 3.13. Características de la muestra 13..... 34
Tabla 3.14. Características de la muestra 14..... 34
Tabla 3.15. Características de la muestra 15..... 34
Tabla 3.16. Características de la muestra 16..... 35
Tabla 3.17. Características de la muestra 17..... 35
Tabla 3.18. Características de la muestra 18..... 35
Tabla 3.19. Dimensiones propuestas para cada muestra..... 36
Tabla 3.20. Denominaciones para las piezas de cada especie..... 37
Tabla 3.21. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de E1, P1 y T1. 38
Tabla 3.22. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de las muestras sumergidas en agua durante 1 semana. 39

Tabla 3.23. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de las muestras sumergidas en agua durante 2 semanas..... 39
Tabla 3.24. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad correspondientes a las muestras sumergidas en agua durante 4 semanas..... 40
Tabla 3.25. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad correspondientes a las muestras sumergidas en agua durante 5 semanas. 40
Tabla 3.26. Resultados Finales..... 41
Tabla 3.27 Características de la muestra de Eucalipto usada en mina..... 42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medición de muestras 55
Anexo 2. Peso natural de E6 55
Anexo 3. Peso de la muestra T2 56
Anexo 4. Ensayo de compresión simple de P2 56
Anexo 5. Muestra E3 luego del ensayo de RCU 56
Anexo 6. Peso húmedo de P4 56
Anexo 7 Peso húmedo de T5 56
Anexo 8. Ensayo de RCU de E5 56
Anexo 9. Muestra E5 luego de ensayo de RCU 56
Anexo 10. Peso de muestra de Eucalipto usado en mina 56
Anexo 11. Ensayo de RCU de la muestra de Eucalipto usado en mina 56
Anexo 12. Muestra de Eucalipto usado en mina luego de ensayo de RCU 56

ALTERNATIVAS DEL USO DE MADERAS EN FORTIFICACIÓN MINERA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

RESUMEN

En el presente trabajo se realizarán ensayos de resistencia a la compresión simple de piezas de madera correspondientes a Eucalipto, Pino y Teca, cuyo uso es común en fortificación de minas subterráneas y especialmente en el distrito minero Camilo Ponce Enríquez. Los estudios se realizarán con el fin de conocer el modo en que afectan ciertas condiciones del entorno de trabajo a los materiales usados en las labores de sostenimiento y al referirse a éstas, se puede decir que una de las más importantes es la humedad, por lo que en la presente tesis se evaluará la forma en que afecta el aumento del contenido de humedad a los valores de resistencia a la compresión simple de la madera. Adicionalmente, en este análisis se identificará que especie de las tres analizadas es la que más resistencia ha presentado en el proceso.

Palabras clave: Compresión simple, madera, fortificación, humedad.

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Director del Trabajo de Titulación

Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela

Carmen Anaís Rivera Urgilés

Autor

ALTERNATIVES IN THE USE OF WOODS IN MINING FORTIFICATION UNDER DIFFERENT HUMIDITY CONDITIONS

ABSTRACT

In this work, simple compressive strength tests were performed on pieces of eucalyptus, pine and teak wood. Their common use was in the fortification of underground mines, especially in the Camilo Ponce Enríquez mining district. The studies were carried out in order to determine how certain conditions of the work environment affected the materials used for support. One of the most important conditions was humidity. This thesis evaluated how the increase in humidity affected the values of simple compressive strength of wood. Additionally, it was identified which of the three analyzed species showed more resistance in the process.

Keywords: Simple compression, wood, fortification, humidity.

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Thesis Director

Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator

Carmen Anaís Rivera Urgilés

Author

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Ing. Paúl Arpi

Traductor

Rivera Urgilés Carmen Anaís

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Septiembre 2018

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la civilización, el ser humano ha realizado una serie de actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos que tiene a su alcance. Una de esas acciones y que continúa hasta la actualidad es la minería, cuyo fin principal es la extracción de los recursos minerales del subsuelo y procesarlos para obtener un beneficio de ellos.

La minería al ser una actividad extractivista, tiene que acoplar sus labores a las condiciones geológicas, físicas y mecánicas en las que se presenten los materiales que pretenden extraerse, derivándose de estas circunstancias dos tipos de explotación de minerales: cielo abierto y en subterráneo. La primera indica que las tareas a realizar serán ejecutadas en superficie y los minerales que se pueden extraer son: metales, no metales y materiales de construcción. Mientras que la minería subterránea comprende todas las actividades extractivas que se realizan debajo del subsuelo y los minerales que pueden ser extraídos son: metálicos y no metálicos.

Al hablar de minería subterránea, cabe recalcar que las condiciones a las que deben acoplarse las actividades a realizar son de mayor peligro que en cielo abierto, debido a que se realizan excavaciones que se encuentran a grandes profundidades, por lo que desde la antigüedad se han implementado técnicas que permitan extraer el mineral de forma eficiente y preservando la salud y vida de las personas implicadas en el proceso. Una de estas técnicas es la fortificación, cuyo objetivo es mantener la forma y dimensión de las galerías subterráneas.

La fortificación en minas utiliza una serie de materiales que ayudan al auto soporte del macizo rocoso, entre ellos: madera, acero, hormigón, mallas, pernos de anclaje, entre otros. Dentro de los materiales más utilizados está la madera, por sus buenas propiedades físicas y mecánicas, bajos costos y facilidad para conseguirla y emplearla.

Al referirse a las propiedades mecánicas de la madera se puede hablar de la resistencia a la compresión simple que posee ésta, por lo que en el presente documento se estudiará la manera en que afectan los cambios de humedad a las propiedades de resistencia a la compresión simple de la madera utilizada en fortificación de minas en el distrito minero Camilo Ponce Enríquez.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Fortificación en Minas

La fortificación en minas es una construcción artificial que se realiza con el fin de prevenir la destrucción de las rocas circundantes y conservar las dimensiones apropiadas de la sección de las galerías, lográndose de este modo el auto sostenimiento del macizo rocoso. Al ser ésta una construcción artificial, debe satisfacer una serie de exigencia técnicas, productivas y económicas, es decir, debe ser simple, fuerte, barato, y efectivo. Por lo que para proceder a su aplicación se deben realizar una serie de estudios analizando las diferentes condiciones del entorno de las labores para proceder a elegir una de las diversas alternativas que se tiene (Sari & Rodas, 2013).

El Manual de Fortificaciones mineras, define como fortificaciones de excavaciones subterráneas a "El sostenimiento o fortificación tiene por objeto mantener abiertas las labores durante la explotación, compensando la "condición inestable" de la masa de roca que soporta. En la mayoría de los casos, solamente es necesario que las labores mineras permanezcan abiertas durante períodos de tiempo relativamente cortos. Por ello la función de las fortificaciones es retrasar el reajuste de las masas de rocas, más que asegurar un sostenimiento permanente. Pero si fallara antes que las labores puedan ser abandonadas será preciso sustituirlos."

El rol fundamental de la fortificación es:

- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos, aire, etc.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.
- Disminuir el movimiento de las cajas, techo y piso.
- Mantener la cohesión de los terrenos. El reconocimiento y tratamiento oportuno del terreno peligroso mediante fortificación, es vital para evitar que se produzcan accidentes, pérdidas en la producción o daños en los equipos.

La fortificación debe diseñarse de forma racional y específica para cada caso en particular y donde sea requerida.

En faenas mineras de corta vida, si la fortificación es necesaria, debe ser tan sencilla como sea posible para asegurar la estabilidad de la labor. En faenas de mayor duración, la tendencia es diseñar fortificaciones de carácter más permanente.

1.1.1 Tipos de fortificación

Fortificaciones rígidas: Este tipo de fortificación sostiene la roca sin permitir ningún movimiento en ella y debe ser lo suficientemente resistente para sujetar los bloques que pueden caerse. Actualmente se los utiliza en las bocas de las minas o en sectores en los que por razones tectónicas, explotaciones hundidas o mala calidad de la roca se han perdido las propiedades de resistencia de ésta. Los sistemas más usados para estas fortificaciones son los marcos que pueden ser de madera o acero (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002).

Fortificaciones flexibles: Las fortificaciones de este tipo permiten que la roca se deforme y con esto alivian los esfuerzos y mejoran sus propiedades resistentes. A este grupo pertenecen las fortificaciones modernas tales como: marcos deslizantes, cintas, marcos noruegos, pernos de anclaje y cables (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002).

Fortificación con pernos y cables*:* Los pernos pueden ser de anclaje puntual o de anclaje repartido. En el primer caso los pernos se sujetan en el fondo de la perforación mediante cabezas expansibles o cemento o resina. En el segundo caso pueden ser pernos de fricción, pernos con inyecciones de cemento o inyecciones de resinas a lo largo de todo el perno.

El perno resiste el peso de un bloque, ya sea por adherencia de su cabeza o por la adherencia a lo largo de todo el perno cuando es de anclaje repartido. Cuando el perno está bien adherido a la roca, el perno puede sufrir un alargamiento, lo que mejora su resistencia hasta límite de fluencia. Lo mismo pasa con los cables (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002).

1.1.2 Clasificación de las fortificaciones usadas en minas

Fortificación con madera: Esta clase de fortificación fue la mayormente usada hasta la época de la segunda guerra mundial, cuando comenzó a ser desplazada por el acero. Sus principales desventajas es ser un material altamente combustible y que se degrada fácilmente por organismos parasitarios (ej.: hongos, insectos) (Ledezma, 2016).

Figura 1.1. Fortificación con madera
Fuente: (Minera, 2016)

Fortificación con marcos de acero “marco noruego”: La fortificación con marcos de acero es una de las más utilizadas debido a las propiedades de este elemento. Este es el que mejor resiste el agresivo ambiente minero, especialmente los relacionados a temperatura, humedad, gases y agua. Además, el acero tiene dos características de gran relevancia en la minería subterránea: es un elemento incombustible y reutilizable (Ledezma, 2016).

Figura 1.2. Fortificación con marcos de acero
Fuente: (Minera, 2016)

Fortificación con Pernos: Principalmente la fortificación con pernos se basa en oponerse a la deformación del macizo rocoso, ayudando al macizo rocoso a autosoportarse, La utilización de pernos de anclaje permite al macizo rocoso hacer esto, debido a que el perno pasa a formar parte del mismo entorno, reforzando la resistencia de la roca.

Para la colocación de pernos de anclaje se debe revisar y clasificar el tipo de fracturas en las labores y su plano de deslizamiento, pudiéndose generar los siguientes efectos:

Cuña: Este efecto comúnmente se genera en rocas masivas o levemente fracturadas dentro de las galerías de trabajo, el efecto en cuña se representa en la siguiente figura:

Figura 1.3. Defecto de Cuña en la roca
Fuente: (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Si dentro de las labores de operación, se observa un entorno similar al de la figura anteriormente mostrada, se debe colocar los pernos de anclaje siguiendo el modelo de la figura que se presentará a continuación:

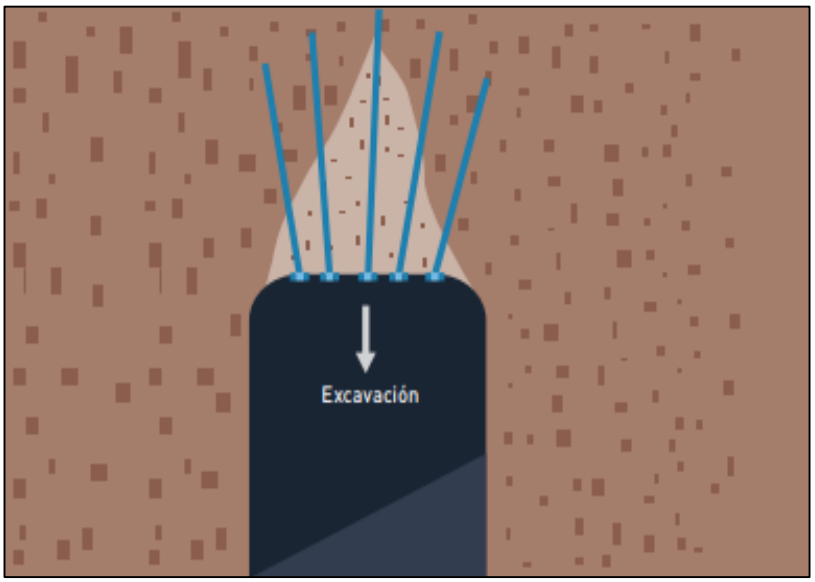


Figura 1.4. Colocación de pernos en Cuña
Fuente: (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Viga: En rocas estratificadas sub-horizontal y en rocas no estratificadas con un sistema de fracturas dominantes sub-horizontales, los pernos deben ser colocados como se presentan en el diagrama siguiente:

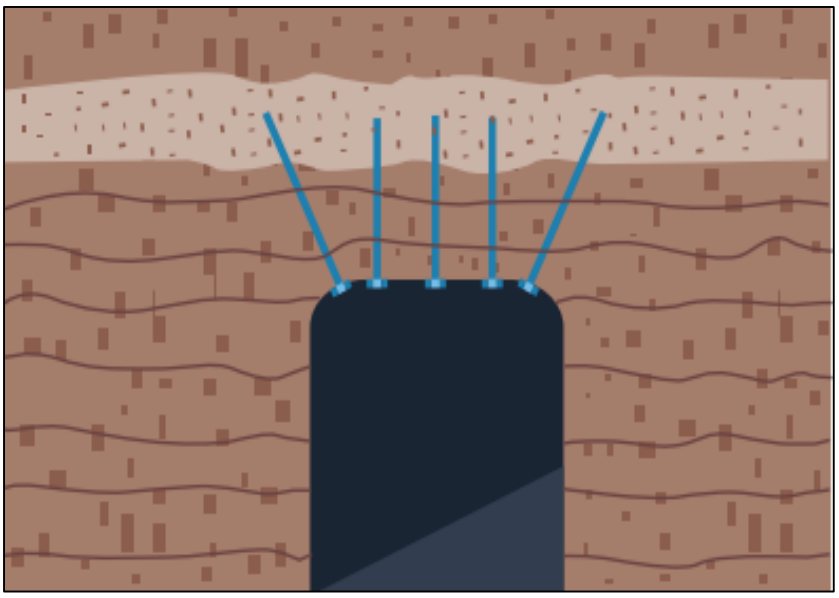


Figura 1.5. Pernos aplicados en Viga
Fuente: (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Columna: Esta es una situación común en la explotación de vetas angostas cuya caja pendiente se encuentra fracturada (explotaciones de corte relleno o en avances de galerías).

El aseguramiento de la caja se logra mediante la colocación de los pernos como se presenta en la siguiente Figura:

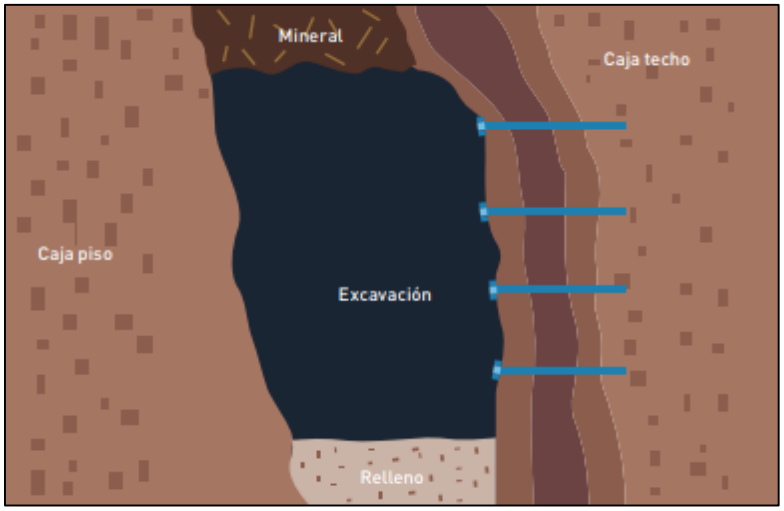


Figura 1.6. Pernos en Columna
Fuente: (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Para tener en cuenta el tipo de perno que se desea utilizar, se debe tener en consideración lo siguiente:

- Tiempo de uso de la labor.
- Grado de humedad y drenaje ácido de roca presente en el macizo rocoso.
- Sección de la labor y longitud del perno.

(Ledezma, 2016)

Mallas: La armadura sirve para absorber las solicitaciones por contracción, aumentar la resistencia a la tracción / cizallamiento y para repartir las cargas concentradas. Esta alternativa de fortificación es recomendable cuando se quiere garantizar obras subterráneas sometidas a los esfuerzos mencionados anteriormente. La abertura o luz de la malla no debe ser inferior a 5 centímetros, siendo la más utilizada la de 10 (Ledezma, 2016).

Figura 1.7. Fortificación con malla
Fuente: (Minería Futura, S.A., 2017)

Shotcrete: Este sistema de fortificación es usado para garantizar la permanencia de labores subterráneas, se debe adicionar hormigón proyectado (shotcrete) al sistema, pernos-malla (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002).

Figura 1.8. Shotcrete
Fuente: (Minería Futura, S.A., 2017)

1.2 Características Generales de las maderas usadas en fortificación

La madera se encuentra compuesta totalmente por células (unidas mediante una membrana de lignina), las mismas que le proporcionan las diferentes propiedades físico-químicas, formándose de este modo la unidad básica de su constitución. Las células de la madera son elementos complejos que se encuentran formados por dos tipos de componentes: Primarios y Secundarios, y las cantidades de estos varían según el tipo de árbol. Los Primarios, están compuestos por celulosa que es un polisacárido que forma

las paredes de las células de la madera, estas células se llaman fibras, y la lignina es una sustancia cementante de la madera, el cual es un polímero de unidades de fenilpropano, la pectina es un material gelatinoso y feculento que une las paredes de las células y es muy susceptible a la hinchazón y a la contracción, como resultado del contacto con agua. Los elementos llamados Secundarios son importantes impregnaciones, extrañas a la propia pared celular (Ramírez, 2009).

La madera también está compuesta por otras sustancias como el duramen (parte inmediata a la médula o corazón), formado por madera dura y consistente impregnada de tanino y de lignina, que le comunica la coloración rosa. La albura que es denominada la madera joven, posee más sabia y se transforma con el tiempo en duramen al ser sustituido el almidón por tanino, que se fija en la membrana celular, volviéndola más densa e imputrescible y por último la corteza cuya función es la protección y aislamiento de los tejidos del árbol de los agentes atmosféricos. La corteza es la cubierta protectora del árbol y puede variar de gruesa a delgada pero siempre es impermeable (Ramírez, 2009).

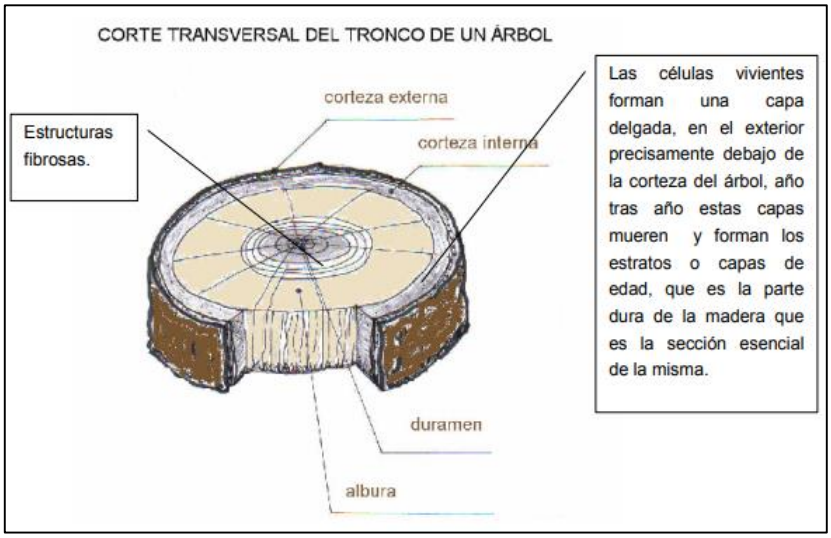


Figura 1.9. Componentes de la madera
Fuente: Ramírez, 2009

La fortificación con madera es la más usada a nivel de pequeña minería, porque tiene menor costo y presenta mayor facilidad al colocarla. Sin embargo, para saber elegir correctamente el tipo de madera que se va a utilizar se deben considerar los siguientes factores:

• Las condiciones del medio en el que se usará, que puede ser desde húmedo hasta seco, y que influye en la variación de peso, propiedades mecánicas y durabilidad.

• Las demandas a las que puede estar sometida, pudiendo ser del tipo compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, o bien pandeo, tracción, flexión y esfuerzo de corte (Sernageomin, 2014).

Marcos de Madera:

Los marcos de madera son la forma más representativa de "enmaderación", están compuestos por tres piezas fundamentales llamadas: sombrero o viga, en posición horizontal, que se apoya en dos postes; pie derecho o vertical. Como pieza auxiliar al marco propiamente tal, se tiene la solera que va en el piso de la labor entre los postes (Sernageomin, 2014).

Para instalar los marcos de madera se debe realizar lo siguiente:

- Desquinchar, acuñar y limpiar la labor.
- Acondicionar la base para apoyar los postes, haciendo un herido de 10 cm, como mínimo, para afianzarlos al piso.
- Ubicar la solera, si se requiere, sin descuidar la línea de gradiente.
- Ajustar o ensamblar entre sombrero y poste. El apriete del poste al sombrero o viga se debe asegurar mediante la aplicación de un taco en forma de cuña u otro medio igualmente eficaz. En eucaliptos, la cuña debe hacerse de acuerdo a la "rajadura" de la madera cuando es cilíndrica, para aumentar los puntos de contacto.
- En las labores de convergencia pronunciada (levante de techos), la fortificación debe completarse colocando tendidos de madera entre el techo y el sombrero o viga, los cuales se afianzarán a presión.
- El ensamble del poste a la viga debe ser practicado consiguiendo el mejor contacto directo entre las piezas ensambladas, sin intercalar en lo posible cuñas entre las superficies de contacto.
- En las labores inclinadas, como chiflones, rampas u otras similares, la instalación de los postes se hará de modo tal que su base quede instalada de manera perpendicular a la inclinación de la labor (en la bisectriz del ángulo que forman la normal al piso de la galería y la vertical al mismo punto) (Sernageomin, 2014).

A continuación, se muestra una figura de la estructura de un marco de madera:

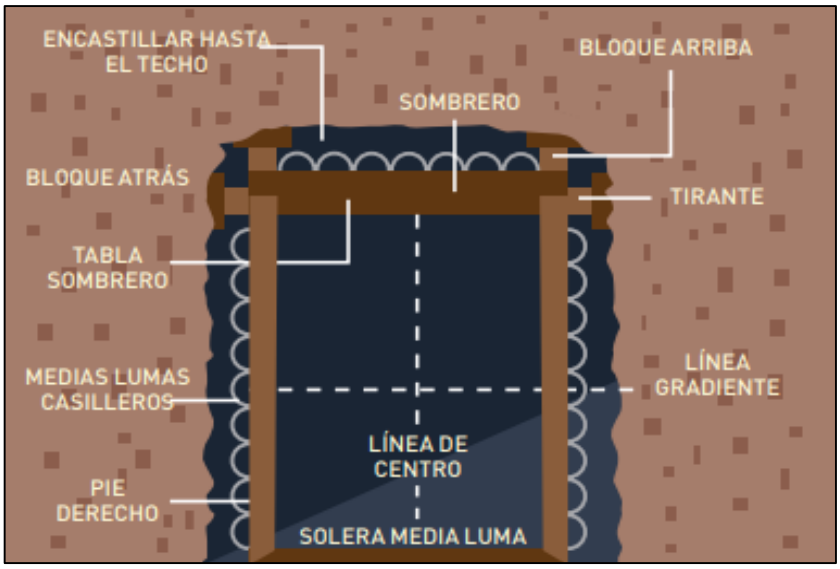


Figura 1.10. Estructura de un Marco de Madera
Fuente: (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Ventajas:

- ✓ Docilidad de labra.
- ✓ Escasa densidad.
- ✓ Calidad.
- ✓ Resistencia mecánica.
- ✓ Propiedades térmicas y acústicas.

Desventajas:

- Inconvenientes como su combustibilidad, inestabilidad volumétrica y putrefacción.
- La resistencia a la flexión, tensión, compresión depende de la estructura fibrosa y de los defectos de la madera.
- La humedad, no es resistente.
- Los hongos afectan en la humedad con poca ventilación la madera se pudre.
- No es conveniente que la madera trabaje a la flexión, mejor trabaja a la compresión paralelo a las fibras (ARQHYS, 2012).

Marcos de madera en Chimeneas de Traspaso:

En chimeneas de traspaso o chimeneas de acceso del personal, los marcos son de secciones más reducidas que los de otro tipo de galería subterránea.

En este tipo de fortificación debe observarse, al menos, las siguientes reglas:

- Los rollizos deben ir colocados uno sobre otro, con un corte de media caña y rellenados exteriormente con material estéril.
- En las chimeneas de traspaso de mineral, una vez terminadas, debe colocarse "lampones" como forro interior para evitar dañar los marcos con el mineral abrasivo.
- En la chimenea de acceso del personal, pueden ir sin revestimiento de lampones, pero con escaleras firmes y seguras para evitar riesgos de accidentes.
- La chimenea de acceso de personal debe contar con pasamanos entre niveles. (Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura, 2002)

Defectos de la madera:

Al ser la madera un material natural, tiene muchos defectos causados por las condiciones de su crecimiento. Los nudos afectan la resistencia a la flexión, además, los anillos de crecimiento pueden no estar concéntricos debido a las condiciones del viento y del sol, y las condiciones de secado pueden formar grietas. En la siguiente imagen se divisan algunos de los defectos (Ramírez, 2009):

Figura 1.11. Defectos de la madera
Fuente: (Ramírez, 2009)

1.3 Propiedades de las Maderas usadas en fortificación

Anisotropía: Comportamiento diferente en las tres direcciones del espacio (longitud, anchura, espesor), respecto a las presiones y fuerzas a que se vea sometida. Las propiedades físicas y mecánicas de la madera no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado. Podemos definir tres direcciones

principales en que se definen y miden las propiedades de la madera, que son la axial, la radial y la tangencial. La dirección axial es paralela a la dirección de crecimiento del árbol (dirección de las fibras). La radial es perpendicular a la axial y corta al eje del árbol. La dirección tangencial es normal a las dos anteriores (Alvarez, 2009).

Higroscopicidad: Debido a su gran porosidad la madera absorbe o cede agua del y al ambiente que lo circunda, según éste sea húmedo o seco. La madera no obstante posee una cierta cantidad de agua estimada en un 20% - 30% de su peso, muy difícil que la pierda totalmente (Alvarez, 2009).

Propiedades Térmicas: Como todos los materiales, la madera se dilata con el calor y contrae al descender la temperatura, pero este efecto no suele notarse, pues la elevación de temperatura lleva consigo una disminución de la humedad. La transmisión de calor dependerá de la humedad, del peso específico y de la especie. No obstante, se efectúa mejor la transmisión en la dirección de las fibras que en las direcciones perpendiculares a éstas. (Alvarez, 2009)

Humedad: La madera al ser un material higroscópico, tiende a captar o ceder agua del medio que le rodea, y debido a esto siempre tiene humedad en su interior. Por lo que para eliminar el contenido de agua de sus componentes es necesario destruirla por completo, como, por ejemplo, quemarla (Jiménez, 2011).

Una consecuencia directa del contenido de humedad es el fenómeno de hinchazón y merma de las dimensiones de la madera al captar o ceder agua, respectivamente. A medida que la madera pierde humedad durante el proceso de secado la madera disminuye sus dimensiones. No obstante, este fenómeno se produce cuando la variación de humedad tiene lugar por debajo del punto de saturación de la fibra. Como la madera tiene un comportamiento anisótropo, los cambios dimensionales de ésta son de magnitud diferente en sus correspondientes direcciones: tangenciales, radiales y longitudinales, generándose defectos o singularidades en la madera relacionados con el secado. Se denomina contracción de la madera a la reducción que se produce entre el estado saturado y el estado anhidro de una determinada dimensión (Jiménez, 2011).

En la siguiente tabla se representa como disminuyen las dimensiones de la madera a partir de un decrecimiento en el contenido de humedad:

Tabla 1.1. Pérdidas de dimensiones según tipo de corte con porcentaje de humedad.

Hi/especie	Hi = 20%				Hi = 12%			
Dirección	Caoba	Ayous	Pino Silvestre	Haya	Caoba	Ayous	Pino Silvestre	Haya
Tangencial	2.2	2.4	2.8	5	0.7	0.8	0.9	1.7
Radial	1.4	1.4	1.6	2.6	0.4	0.4	0.5	0.9
Axial	0.2	0.2	0.2	0.4	0.04	0.05	0.1	0.1

Fuente: (Santiago Vignote Peña, 2005)

Peso específico: Es la relación entre el peso P y el volumen v, por lo que al referirse al peso específico siempre se deberá tener en cuenta la humedad presente en cada parte de madera. A partir de eso se puede decir que la densidad de la madera varía por su contenido de humedad siendo el más alto 1540 kg/m^3 (Santiago Vignote Peña, 2005).

$$\rho_e = \frac{P_0}{V_v}$$

La relación entre la densidad de la madera y su resistencia es directamente proporcional:

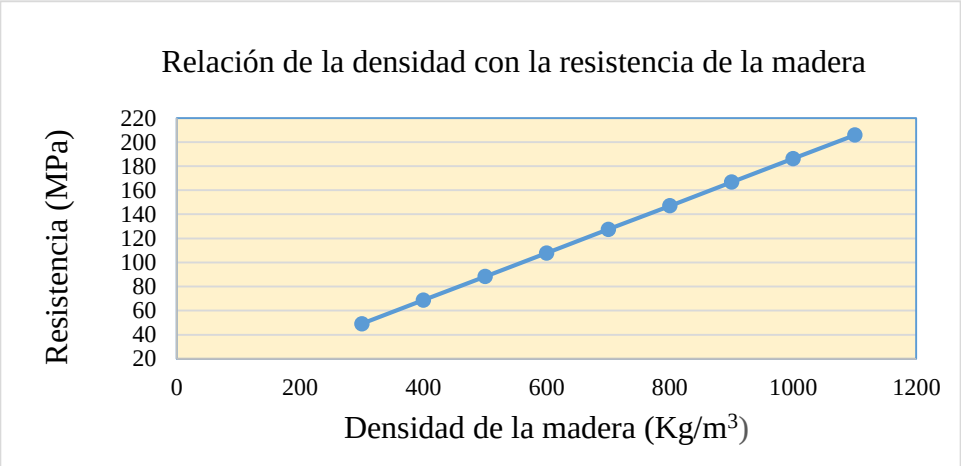


Figura 1.12. Relación de la densidad de la madera con respecto a su resistencia
Fuente: (Santiago Vignote Peña, 2005)

Dureza de la madera: Esta propiedad indica la capacidad de penetración de un material en otro. La dureza en la madera varía con la dirección de la fibra en la superficie en que actúa (Santiago Vignote Peña, 2005). Según Davis, Harmer Elmer (2009); [et al.] "se entiende por dureza a la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga, y en este sentido, la dureza se define

como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada en su superficie" (Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería, 2009).
La dureza axial o paralela a la fibra suele ser 1,5 a 2,5 veces la de la dirección perpendicular a la de la fibra.

Dureza Brinell: La norma ASTM E 10-78 define la dureza Brinell como un método por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza una bola fabricada de un acero extraduro, o bien, de carburo de tungsteno, de un diámetro "D", bajo condiciones específicas, aplicándole una fuerza "P" contra la superficie del material a ensayar durante un tiempo "t" dado, apareciendo entonces una huella con forma de casquete esférico de diámetro "d" sobre el material ensayado. El valor medido en el ensayo es este diámetro "d" del casquete en la superficie del material. La dureza Brinell (HB) viene definida entonces por la siguiente expresión:

$$HB = \frac{P}{S}$$

Siendo "*S*" la superficie de la huella que queda sobre el material ensayado, que resulta ser un casquete esférico. La fuerza "*P*" se expresa en kp (kilopondios) y la superficie de la huella "*S*" en mm^2 (Santiago Vignote Peña, 2005).
Dentro de esta escala los valores correspondientes a la dureza de la madera varían entre 1 y 7 (HB).
Dureza Janka: Este método de medición de la dureza es un ensayo modificado del anterior en el que la dureza se expresa en Kp/mm^2 o N/mm^2 de carga necesaria para hacer penetrar completamente una esfera de Acero con sección diametral de 1 cm^2 en una superficie de madera. A continuación se presenta una tabla con la calificación de dureza de las especies dependiendo de los valores para Brinell y Janka

Tabla 1.2 Valores para Dureza Brinell y Janka

Calificación	**Brinell (Kp/mm^2)**	**Janka (Kp/mm^2)**
Muy blanda	<1	<150
Blanda	1 a 2	150 a 350
Semidura	2 a 4	350 a 650
Dura	4 a 8	650 a 900
Muy dura	>8	>900

Fuente: (Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería, 2009)

Tabla 1.3 Valores de la dureza de diversos tipos de madera

Especie	Brinell (parl.) (Kp/mm^2)	Brinell (perp.) (Kp/mm^2)	Janka (perp.) (Kp/mm^2)
Abeto	3.2	1.2	-
Alerce	4.9	2.2	-
Balsa	0.55	0.25	-
Bubinga	-	3.8	1200
Calabó	3.4	1.6	170
Caoba	3.7	1.8	360
Cerezo europeo	5.4	2.9	-
Haya	7.1	2.8	-
Iroko	-	2.9	560
Okume	3	1.2	170
Peral	5.5	3.1	-
P. Amarillo del Sur	4.4	2	-
P. Silvestre	4	1.8	-
Samba	-	1.3	190
Sapelly	-	2.5	670
Teca	-	3.1	440

Fuente: (Santiago Vignote Peña, 2005)

1.3.1 Propiedades mecánicas de la madera

Resistencia a la Tracción: Máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse, este esfuerzo se genera por la acción de dos fuerzas iguales, pero con sentido opuesto (Imaz, 2012). Para el caso de la madera, la mayor resistencia es la de tracción debido a que ésta se ejecuta en dirección paralela a las fibras. La rotura en tracción se produce de forma súbita (Madera, 2007).

Resistencia a la Compresión: Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo la acción de una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material se puede definir como una propiedad independiente. Sin embargo, los valores de resistencia a la compresión de materiales que no se rompen durante la compresión, se definen como los esfuerzos necesarios para deformarlos (INSTRON, 2017). En la madera, la resistencia a compresión aumenta al disminuir el grado de humedad, a mayor peso específico de la madera mayor es su resistencia. La dirección de la fuerza a la que se somete también influye en la resistencia a la compresión, la madera resiste

más al esfuerzo ejercido en la dirección de sus fibras y disminuye a medida que se ejerce atravesando la dirección de las fibras (Madera, 2007).

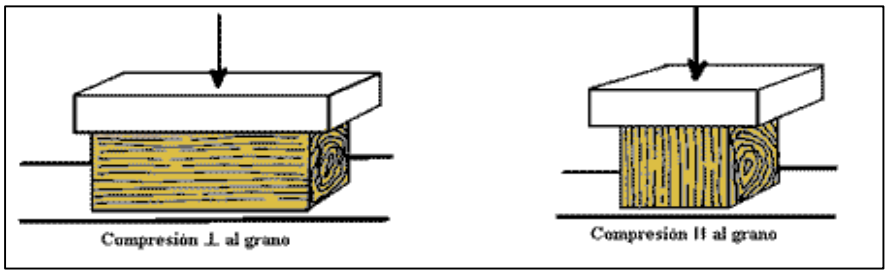


Figura 1.13. Compresión de la madera.
Fuente: (Madera, 2007)

Flexión: Es el esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en un cuerpo justo antes de que se agriete o se rompa durante un ensayo de flexión (INSTRON, 2017). En la madera son las fuerzas aplicadas en dirección perpendicular a las fibras y producen un acortamiento de las fibras superiores y un alargamiento de las inferiores (Madera, 2007).

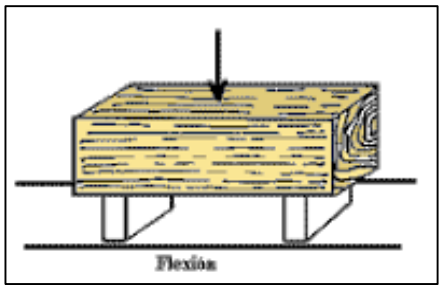


Figura 1.14. Flexión de la madera
Fuente: (Madera, 2007)

Elasticidad: Es la propiedad mediante la cual un cuerpo se deforma de manera proporcional a la carga que se le ha aplicado y recupera su forma a medida que termina la acción de la carga (Imaz, 2012). En la madera, el módulo de elasticidad en tracción es más elevado que en compresión. Este valor depende de la especie, humedad, dirección del esfuerzo y la duración de aplicación de las cargas (Madera, 2007).

Pandeo: Se refiere a la curva o flexión que se produce en la mitad de una viga o de un cuerpo debido a la compresión (Porto, 2013). En la madera el pandeo se produce cuando se supera la resistencia de la pieza sometida al esfuerzo de compresión con fuerzas actuando en el sentido de sus fibras, generando de esta manera una fuerza

perpendicular que hace que la pieza se doble en la zona de menor resistencia (Madera, 2007).

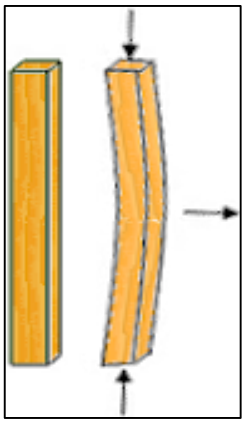


Figura 1.15. Pandeo de la madera
Fuente: (Madera, 2007)

Fatiga: La fatiga como propiedad mecánica de los materiales, es un proceso de daño que se produce cuando se someten estos a cargas variables, incluso aunque éstas tengas valores muy inferiores a las que producirían la rotura ante una carga constante. Se define como un proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que se produce en algún punto del material sujeto a condiciones que producen tensiones y deformaciones fluctuantes y que puede terminar en la aparición de grietas y la fractura completa después de un número suficiente de fluctuaciones (Abascal, 2018). En la madera el límite de fatiga es la tensión máxima que puede soportar una pieza sin romperse (Madera, 2007).

Resistencia al Corte: Es un esfuerzo que provocan fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del material, las fuerzas son aplicadas en sentidos contrarios casi en la misma vertical y tienden a cortar al material (Bañón, 2011). También se define como la capacidad de resistir fuerzas que tienden a que una parte del material se deslice sobre la parte adyacente a ella (Madera, 2007).

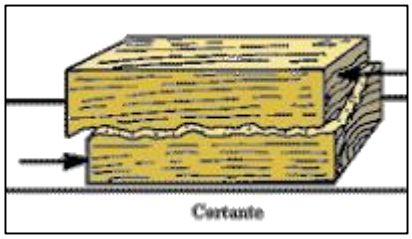


Figura 1.16. Resistencia al corte
Fuente: (Madera, 2007)

Resistencia de distintas clases de madera y su relación con la Resistencia de distintos materiales:

La resistencia es diferente en los diversos tipos de madera, por lo que a continuación se muestra una tabla con las resistencias de las distintas clases de madera:

Tabla 1.4. Resistencia de distintas clases de madera.

	Chopo	**Pino**	**Roble**
Flexión axial (MPa)	61.25	78.4	127.4
Módulo de elasticidad (MPa)	6860	8820	14700
Tracción axial (MPa)	61.25	78.4	127.4
Compresión axial (MPa)	24.01	30.87	51.45
Tracción transversal (MPa)	1.372	1.764	2.94
Compresión transversal (MPa)	6.37	8.036	12.936

Fuente: (Santiago Vignote Peña, 2005)

La madera al poseer buenas propiedades mecánicas es usada dentro de la ingeniería, por lo que a continuación se presenta una tabla de comparación entre sus propiedades mecánicas y las de otros materiales utilizados en esta misma rama:

Tabla 1.5. Resistencia de la madera con respecto a otros materiales.

Característica mecánica	**Hormigón**	**Madera**	**Acero**	**Cristal**	**Plástico**
Densidad (Kg/m^3)	2200	500	780	2600	1180
Resistencia a la compresión (MPa)	14.7 a 29.4	34.3	254.8	102.9	-
Resistencia a la flexión (MPa)	0.588	85.75	254.8	107.8	-
Resistencia a la tracción (MPa)	1.96	85.75	254.8	65.17	73.5
Módulo de elasticidad (MPa)	19600	9800	205800	61740	3430

Fuente: (Santiago Vignote Peña, 2005)

1.3.2 Resistencia a la compresión simple de las maderas

“La resistencia a la compresión simple de la madera desempeña un papel muy importante para su utilización en obras ingenieriles, el máximo valor de esta propiedad

se alcanza cuando la fuerza es paralela a las fibras que es cerca del 50% de resistencia que se alcanza con la tensión a lo largo de las fibras" (Ramírez, 2009).

"Las fibras bien cementadas y acuñadas soportan esfuerzos a la tensión muy altos, sometidos a compresión probablemente se presente un pandeo inicial de las fibras individuales al empezar la ruptura" (Ramírez, 2009).

El efecto del ángulo de carga con la dirección de la fibra es más notable en la resistencia a la compresión que en la resistencia a la tensión, en la siguiente figura se puede observar la relación entre la resistencia a la compresión de la madera de pino y el ángulo de fibra (Ramírez, 2009).

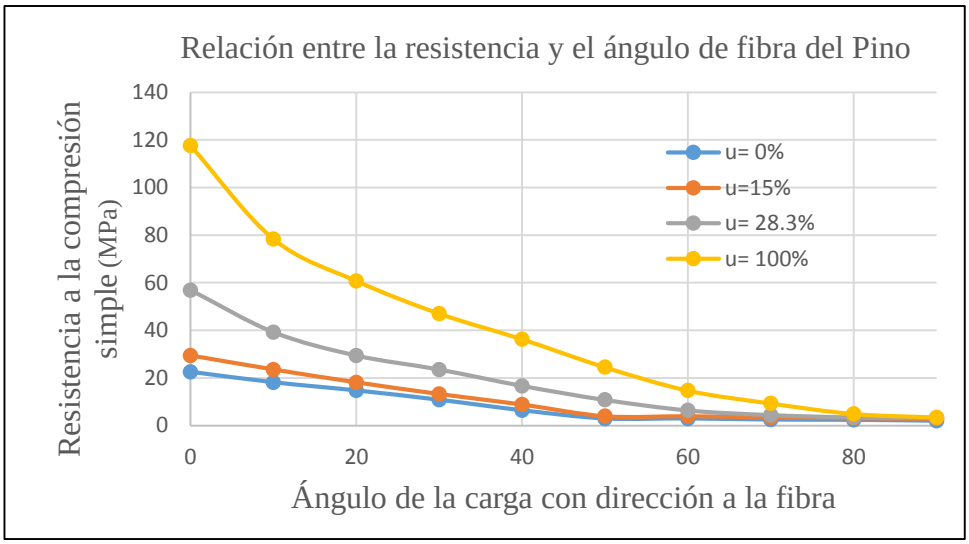


Figura 1.17. Relación entre la resistencia a la compresión de la madera de Pino y el ángulo de fibra
Fuente: (Ramírez, 2009).

1.4 Humedad

Para poder comprender las características peculiares de la madera como soporte, es necesario tomar en cuenta su comportamiento ante el agua. Principalmente, la madera está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es capaz de absorber agua en grandes cantidades, mientras que la lignina es hidrófuga (repele el agua), la hemicelulosa es una cadena de glucosa más corta que la celulosa (KEIM ECOPAINT IBERICA S.L ., 2014).

La mínima cantidad de humedad que puede absorber una pieza de madera puede ser de hasta el 5%. En la siguiente tabla se representa el contenido de humedad de la madera de acuerdo a la humedad relativa:

Tabla 1.6. Porcentaje de Humedad en la madera de acuerdo a la Humedad Relativa

Humedad relativa en % a 20º C	Humedad de la madera en %
20	5
30	6.5
40	8
50	10
60	11.5
70	13.5
80	17
90	22
100	apróx. 30

Fuente: (KEIM ECOPAINT IBERICA S.L ., 2014)

Con un contenido de humedad del 30% la madera estará completamente saturada. Aunque se le aporte más cantidad de agua, ésta ya no se hinchará más. Debido a que las paredes de las células ya no pueden incorporar más agua. La demás agua se alojará en las cavidades de las células que no se expanden en el proceso. El agua ingresa en la madera en forma de vapor de agua, con una velocidad determinada. Para que a esta se le pueda dar un buen tratamiento se deberá medir el contenido de humedad y se aplicara una pintura ideal para conservar las propiedades de la pieza (KEIM ECOPAINT IBERICA S.L ., 2014).

1.4.1 Cálculo del contenido de humedad

Conocer el contenido de humedad que tiene un cuerpo es muy importante porque permite saber que contenido de agua ha sido absorbido en el ambiente en que se encuentra el objeto estudiado.

La forma más utilizada para calcular el contenido de humedad consiste en pesar el cuerpo cuando este húmedo, posteriormente ponerlo a secar, y luego tomar su peso nuevamente para posteriormente con la aplicación de una formula conocer el porcentaje de humedad que contiene el cuerpo. Sin embargo, este método también se puede aplicar de forma inversa, primero pesando una muestra seca y posteriormente

sometiéndole a un ambiente húmedo en el que absorberá un contenido de agua, finalmente se lo pesa y se podrá aplicar la fórmula correspondiente al método.

$$H = \frac{Peso\ \ húmedo - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100\%$$

En diversos materiales usados en ingeniería, tales como la madera, es importante realizar esta operación, debido a que ayuda a conocer en qué porcentaje se encuentra el contenido de humedad y las medidas que deben considerarse, teniéndose en cuenta que este factor puede afectar sus propiedades de resistencia.

1.5 Influencia de la Humedad

El contenido de humedad es el factor más importante en la resistencia a la compresión de la madera. Como el agua se deposita entre las micelas, causa una reducción en las fuerzas intercelulares de atracción y por lo tanto en la cohesión (Ramírez, 2009).

Es de gran importancia conocer la manera en que influye el contenido de humedad presente en las fibras naturales de la madera, debido a que se presentarán cambios notorios en las propiedades mecánicas del material, y esto se puede comprobar mediante ensayos de laboratorio en los que se podrá conocer en qué porcentaje cambia el contenido de humedad y también como ha afectado esta condición sus propiedades más importantes. A continuación, se muestra la relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de humedad en varias especies arborícolas:

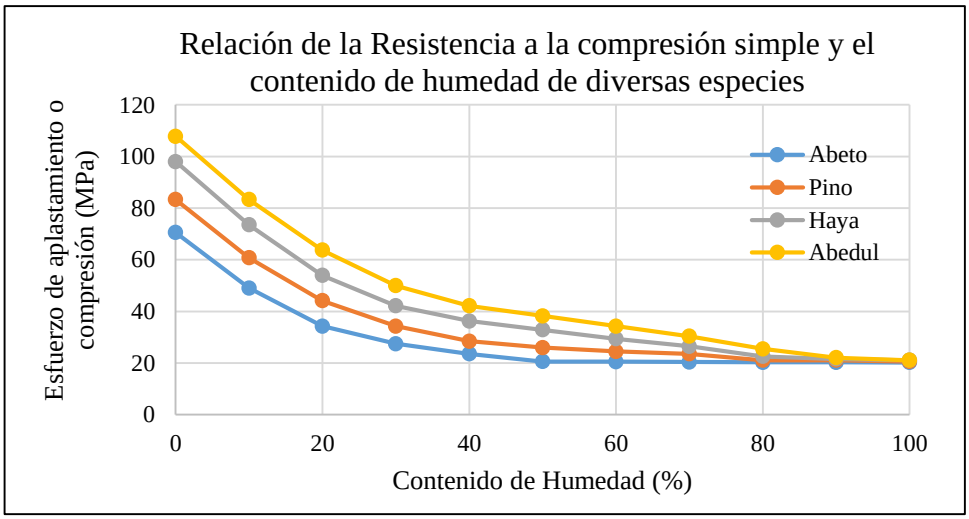


Figura 1.18. Relación entre la resistencia a la compresión simple y el contenido de humedad
Fuente: (Ramírez, 2009).

Según Jaime de la Mata (2011) La resistencia mecánica de la madera se encuentra estrechamente relacionada con el contenido de humedad presente en ésta y hace que se comporte de forma diferente frente a los esfuerzos, independientemente de la orientación de la fibra con respecto a la carga. A medida que va perdiendo contenido de humedad, sus propiedades mecánicas van permaneciendo prácticamente constantes, hasta que desaparece el agua libre presente en la madera (punto de saturación de la fibra, contenido de humedad ≈ 30 %). Por debajo de este valor, la resistencia mecánica de la madera aumenta progresivamente con el descenso de la humedad. Por lo que se puede decir que la resistencia a compresión de la madera aumenta a medida que su contenido de humedad desciende. La Resistencia a la tracción disminuye al aumentar el contenido de humedad. La Resistencia a la flexión aumenta a medida que aumenta la humedad y la Hendibilidad o escisión (tendencia que tiene la madera a desgarrarse en la dirección paralela a las fibras cuando sufre un esfuerzo, generalmente de tracción paralela a la fibra) es mayor con el contenido de humedad (Jiménez, 2011).

1.6 Resistencia a la compresión simple de materiales

La resistencia a la compresión simple es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión (Gharagozlou, 2017).

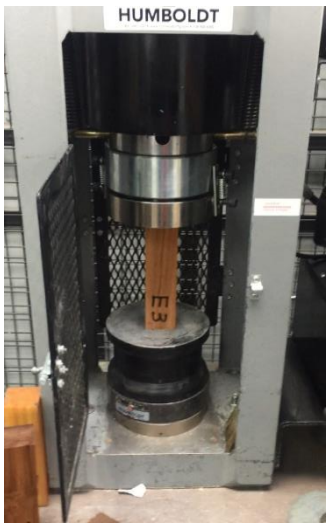


Figura 1.19. Prensa de compresión simple

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación Geográfica

Camilo Ponce Enríquez es un cantón perteneciente a la provincia del Azuay en el austro del Ecuador, esta ciudad se encuentra aproximadamente a tres horas de la ciudad de Cuenca.

Cuenta con una población cercana a los 10.130 habitantes y en las actividades que se realizan para el desarrollo de la cuidad una de las principales es la extracción de minerales metálicos (Sari & Rodas, 2013).

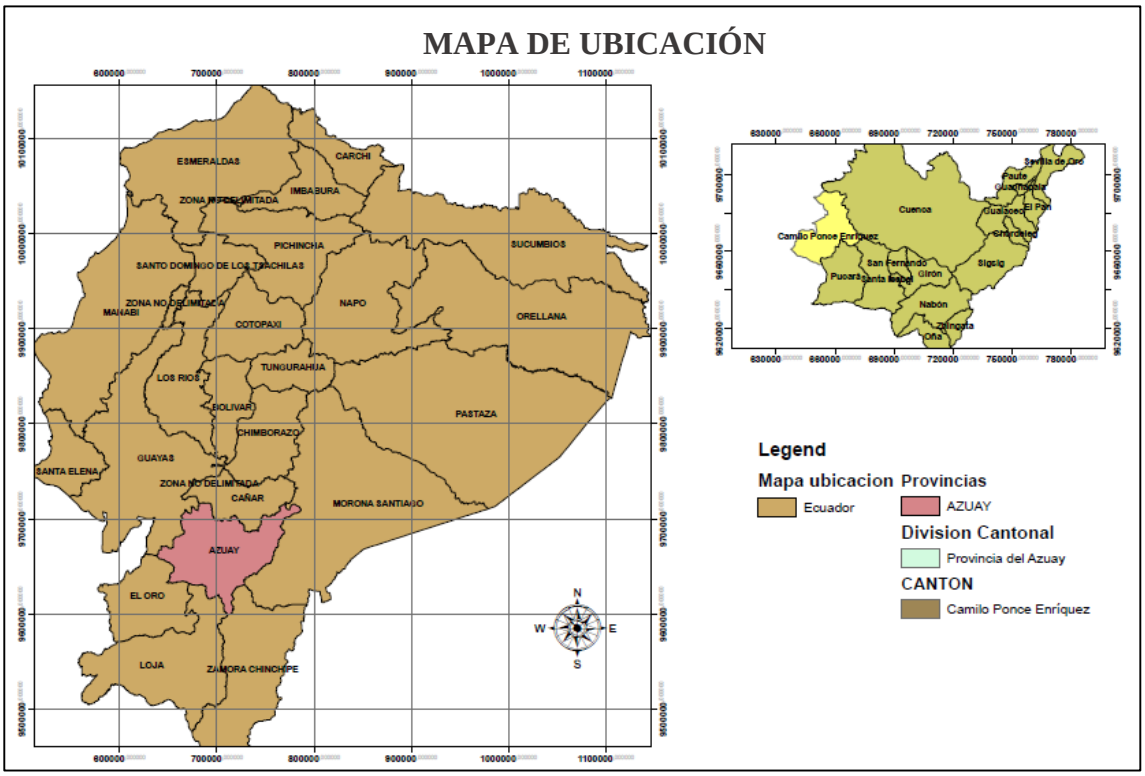


Figura 2.1. Mapa de ubicación del cantón Camilo Ponce Enríquez

2.2 Clima

El cantón Camilo Ponce Enríquez se encuentra en una altura entre los 43 y 920 m. s. n. m. Posee un clima de tipo monzónico, este tipo de clima corresponde las zonas de

vida bosque muy seco tropical y el bosque húmedo pre montano, el primero se localiza entre las altitudes 150 y 300 msnm, su clima está caracterizado por una precipitación anual de entre 500 y 1000 mm y su temperatura media anual fluctúa entre 24 y 26° (Sari & Rodas, 2013).

2.3 Geología

2.3.1 Geología Regional

Camilo Ponce Enríquez, como zona minera, está localizada dentro del Subdistrito Machala-Naranjal, donde comúnmente se encuentran depósitos de Cobre (Cu), Oro (Au), y Molibdeno (Mo) en pórfidos y en vetas desarrollados dentro de rocas de caja volcánicas y que están espacialmente relacionados con pórfidos. La unidad comprende basaltos toleíticos lávicos masivos y almohadillos con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclastitas, sedimentos pelágicos y rebanadas tectónicas de rocas ultramaficas. La base de esta unidad no está expuesta, y hacia el Este está cubierta discordantemente por las rocas volcánicas su aéreas de composición intermedia a silícea calco-alcalina del Grupo Saraguro (Eoceno medio tardío o Mioceno inferior). El espesor de esta unidad aproximadamente es de más de 1Km al Este de Ponce Enríquez (Resa, 2016).

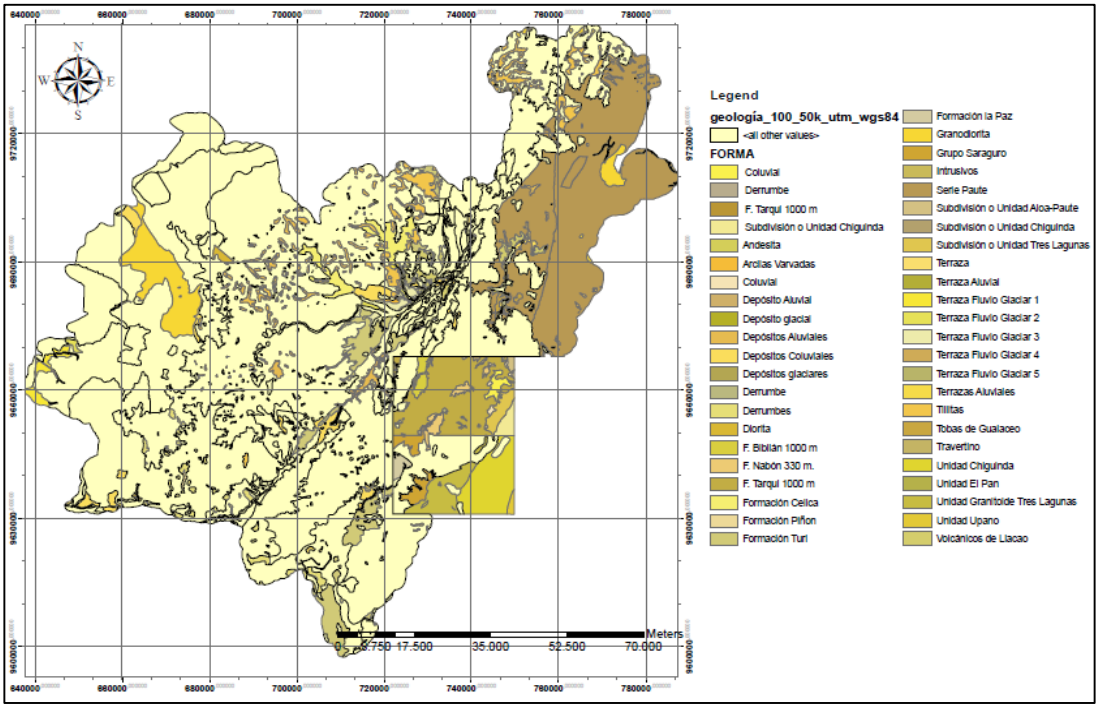


Figura 2.2. Mapa Geológico de la provincia del Azuay

2.3.2 Geología Local

La mineralización esta encajada en rocas andesíticas de la Unidad Pallatanga, rocas intrusivas formadas de no fenocristales de plagioclasas y clorita dispuestos en una matriz afanítica o finamente granulada de estructura micro cristalina compuesta de magnetita, clorita y diseminaciones de pirita (Resa, 2016).

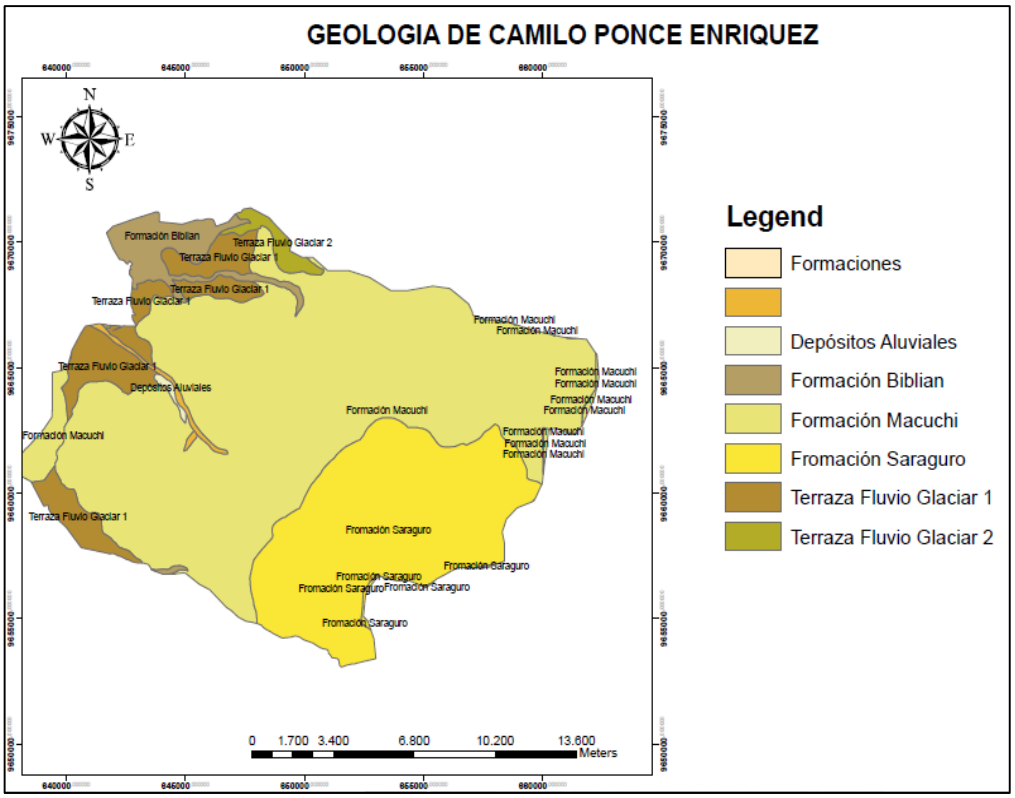


Figura 2.3. Geología del cantón Camilo Ponce Enríquez

2.4 Tipos de maderas que se usan en la fortificación

2.4.1 Teca (Tectona Grandis)

La madera de Teca es muy duradera y resistente, debido al aceite que contiene que la hace muy impermeable y la protege de los ataques de insectos y hongos. Todo ello hace que sea muy utilizada en exteriores y en estructuras para la construcción de viviendas y otros usos. Toda la madera de El Tecal proviene de sus plantaciones lo que supone un amplio beneficio ambiental y social al generar empleos directos e indirectos y restablecer ambientes degradados por la deforestación de la vegetación natural (Vinueza, Ecuador Forestal, 2012).

2.4.2 Pino (Pinus Patula)

El Pino pertenece a la familia Pinaceae, su tronco es recto y cilíndrico, llegan a medir entre 20 a 40 metros de altura, 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 (Criollo, 2017).

2.4.3 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).

2.4.4 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. 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. Durante los 2 primeros años crece en diámetro, como en altura, después de eso solo la copa crece en diámetro. Su tiempo de crecimiento es entre 13 a 15 años. Es resistente al fuego (Vinueza, Ecuador Forestal, 2013).

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

CAPÍTULO III

DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

La finalidad de este trabajo de investigación es determinar la manera en qué afecta un incremento del contenido de humedad a los valores de resistencia a la compresión simple correspondientes a piezas de madera que son utilizadas comúnmente como material de fortificación en minas en el sector de Camilo Ponce Enríquez. Los tipos de madera a utilizar en el proceso son 3: Eucalipto, Pino y Teca.

Las dimensiones de las muestras y la forma en que se realizó su corte, se basa en diversos parámetros técnicos que posteriormente serán detallados.

En total se utilizarán 18 piezas de madera, 6 muestras de cada tipo, y cada una de ellas tiene las mismas dimensiones. Sin embargo, para las pruebas que se pretende realizar, todas serán sumergidas en agua en períodos de tiempo diferentes.

3.1 Descripción de Muestras

La madera como se ha descrito anteriormente, presenta propiedades físicas y mecánicas excelentes, tales como: dureza, higroscopidad, resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, pandeo, entre otras. Las propiedades anteriormente nombradas presentan un gran interés en el campo de la ingeniería y principalmente en la ingeniería de minas, debido a que este material puede ser aplicado en obras de fortificación por su reducido costo y facilidad en manejarlo, ayudando de esta manera a mantener las condiciones de seguridad requeridas en el interior de galerías.

Las muestras pueden definirse brevemente como paralelepípedos de madera cortados en dirección paralela a las fibras del tronco y todas ellas tienen 20 cm de alto, 5cm de ancho y 5 cm de espesor.

En total se tiene 18 muestras de madera, 6 de eucalipto, 6 de pino y 6 de teca, cada una de ellas con las siguientes características:

3.1.1 Eucalipto:

Tabla 3.1. Características de la muestra 1

E1		
Peso inicial (Kg)	0.43	
Peso final (Kg)	-	
Altura (cm)	20.1	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	482.60	
Densidad Seco (Kg/m^3)	899.29	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	-	
Tiempo de sumergimiento	0 días	
Porcentaje de Humedad	-	

Tabla 3.2. Características de la muestra 2

E2		
Peso inicial (Kg)	0.41	
Peso final (Kg)	0.49	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	866.30	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	1022.49	
Tiempo de sumergimiento	7 días	
Porcentaje de Humedad	15.27	

Tabla 3.3. Características de la muestra 3

E3		
Peso inicial (Kg)	0.43	
Peso final (Kg)	0.50	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.8	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	470.4	
Densidad Seco (Kg/m^3)	926.87	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	1079.93	
Tiempo de sumergimiento	14 días	
Porcentaje de Humedad	14.17	

Tabla 3.4. Características de la muestra 4

E4		
Peso inicial (Kg)	0.40	
Peso final (Kg)	0.50	
Altura (cm)	20.1	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	482.60	
Densidad Seco (Kg/m^3)	843.34	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	1046.41	
Tiempo de sumergimiento	28 días	
Porcentaje de Humedad	19.41	

Tabla 3.5. Características de la muestra 5

E5		
Peso inicial (Kg)	0.41	
Peso final (Kg)	0.52	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	855.89	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	1093.29	
Tiempo de sumergimiento	56 días	
Porcentaje de Humedad	21.71	

Tabla 3.6. Características de la muestra 6

E6		
Peso inicial (Kg)	0.41	
Peso final (Kg)	0.38	
Altura (cm)	20.1	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	482.60	
Densidad Seco (Kg/m^3)	789.47	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)		
Tiempo de sumergimiento	-	
Porcentaje de Humedad	9.45	

3.1.2 Pino:

Tabla 3.7. Características de la muestra 7

P1		
Peso inicial (Kg)	0.23	
Peso final (Kg)	-	
Altura (cm)	20.1	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	482.60	
Densidad Seco (Kg/m^3)	489.01	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	-	
Tiempo de sumergimiento	0 días	
Porcentaje de Humedad	-	

Tabla 3.8. Características de la muestra 8

P2		
Peso inicial (Kg)	0.20	
Peso final (Kg)	0.31	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	428.98	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	647.64	
Tiempo de sumergimiento	7 días	
Porcentaje de Humedad	33.76	

Tabla 3.9. Características de la muestra 9

P3		
Peso inicial (Kg)	0.21	
Peso final (Kg)	0.33	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	439.40	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	705.95	
Tiempo de sumergimiento	14 días	
Porcentaje de Humedad	37.76	

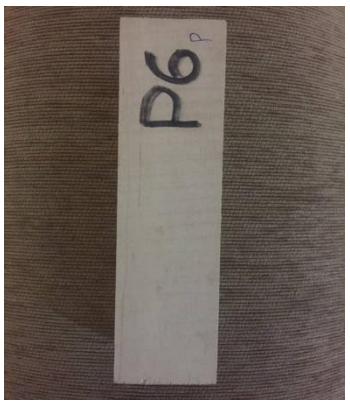
Tabla 3.10. Características de la muestra 10

P4		
Peso inicial (Kg)	0.21	
Peso final (Kg)	0.35	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	449.81	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	745.52	
Tiempo de sumergimiento	28 días	
Porcentaje de Humedad	39.66	

Tabla 3.11. Características de la muestra 11

P5		
Peso inicial (Kg)	0.22	
Peso final (Kg)	0.40	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	476.88	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	847.56	
Tiempo de sumergimiento	56 días	
Porcentaje de Humedad	43.73	

Tabla 3.12. Características de la muestra 12

P6		
Peso inicial (Kg)	0.20	
Peso final (Kg)	0.18	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	385.25	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	431.07	
Tiempo de sumergimiento	-	
Porcentaje de Humedad	11.89	

3.1.3 Teca:

Tabla 3.13. Características de la muestra 13

T1		
Peso inicial (Kg)	0.30	
Peso final (Kg)	-	
Altura (cm)	20	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	480.2	
Densidad Seco (Kg/m^3)	643.48	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	-	
Tiempo de sumergimiento	0 días	
Porcentaje de Humedad	-	

Tabla 3.14. Características de la muestra 14

T2		
Peso inicial (Kg)	0.29	
Peso final (Kg)	0.35	
Altura (cm)	19.9	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	477.79	
Densidad Seco (Kg/m^3)	615.32	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	749.26	
Tiempo de sumergimiento	7 días	
Porcentaje de Humedad	17.88	

Tabla 3.15. Características de la muestra 15

T3		
Peso inicial (Kg)	0.28	
Peso final (Kg)	0.37	
Altura (cm)	19.9	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	477.79	
Densidad Seco (Kg/m^3)	604.85	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	789.03	
Tiempo de sumergimiento	14 días	
Porcentaje de Humedad	23.34	

Tabla 3.16. Características de la muestra 16

T4		
Peso inicial (Kg)	0.28	
Peso final (Kg)	0.39	
Altura (cm)	19.9	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	477.79	
Densidad Seco (Kg/m^3)	600.67	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	832.98	
Tiempo de sumergimiento	28 días	
Porcentaje de Humedad	27.89	

Tabla 3.17. Características de la muestra 17

T5		
Peso inicial (Kg)	0.31	
Peso final (Kg)	0.44	
Altura (cm)	19.9	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	477.79	
Densidad Seco (Kg/m^3)	648.80	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	925.07	
Tiempo de sumergimiento	56 días	
Porcentaje de Humedad	29.86	

Tabla 3.18. Características de la muestra 18

T6		
Peso inicial (Kg)	0.29	
Peso final (Kg)	0.26	
Altura (cm)	20.1	
Ancho (cm)	4.9	
Espesor (cm)	4.9	
Volumen (cm^3)	482.60	
Densidad Seco (Kg/m^3)	557.39	
Densidad Húmedo (Kg/m^3)	619.55	
Tiempo de sumergimiento	-	
Porcentaje de Humedad	11.15	

3.2 Descripción de Métodos de Experimentación

La prueba de resistencia a la compresión simple o resistencia a la compresión uniaxial (RCU), es un ensayo mediante el cual se mide el esfuerzo máximo que puede soportar un material a una fuerza de aplastamiento. Dependiendo del material que componga la muestra, en este caso la madera en forma de paralelepípedo, se puede decir que esta prueba proporciona la cantidad de esfuerzo necesario para romper o deformar el material. El valor de la RCU se calcula al dividir la carga máxima que soporta para el área transversal de la muestra.

Para realizar este ensayo se utilizó una prensa hidráulica Humboldt con capacidad de ejercer una carga de aplastamiento de hasta 50000 kilogramos de fuerza. La misma que se encuentra en los laboratorios de la Universidad del Azuay.

3.2.1 Ejecución experimental de las muestras

Anteriormente se indicó que el objetivo principal de esta tesis es determinar la influencia que tienen los cambios en el contenido de humedad de piezas de madera al momento de realizar los ensayos de resistencia a la compresión simple. Por lo que para lograr aquello se realizó lo siguiente:

Se investigó los tipos de madera utilizados con mayor frecuencia en las labores de fortificación en el sector de Camilo Ponce Enríquez, llegándose a conocer que son tres: Eucalipto, Pino y Teca.

Luego de obtener dicha información se procedió a establecer las dimensiones de cada pieza basándose en la norma ASTM D 5536-94 que expresa que la relación de altura con el ancho y espesor de las muestras es de 4:1, llegándose a proponer las siguientes medidas para cada muestra:

Tabla 3.19. Dimensiones propuestas para cada muestra.

Alto	0.20 m
Ancho	0.05 m
Espesor	0.05 m

Luego de tener las medidas que tendrá cada muestra y con el fin de obtener resultados con mayor veracidad, se plantean los tiempos de sumergimiento y las acciones a realizar con cada una de ellas.

De cada tipo de madera se utilizarán 6 piezas, en total 18 y cada una de ellas enumerada del 1 al 6. Teniéndose las siguientes denominaciones:

Tabla 3.20. Denominaciones para las piezas de cada especie.

Especie	Denominación
Eucalipto	E1
	E2
	E3
	E4
	E5
	E6
Pino	P1
	P2
	P3
	P4
	P5
	P6
Teca	T1
	T2
	T3
	T4
	T5
	T6

Para realizar los análisis se procederá a crear grupos de muestras y cada uno de ellos tendrá 1 pieza de madera de cada especie.

Las muestras con la denominación E1, P1 y T1 se pesaron y posterior a ello se sometieron directamente al ensayo de resistencia a la compresión simple.

Las muestras E2, P2 y T2, fueron pesadas en su estado inicial y luego se las sumergió en agua durante 7 días, luego de transcurrido este período se las pesó, y luego de ello se las sometió a la prueba de RCU.

El proceso descrito para las muestras E2, P2 y T2 también se lo realizó en el grupo de muestras de E3,P3,T3 teniendo una única diferencia en el tiempo de sumergimiento que para este caso fue 14 días.

Similar fue el proceso para el grupo E4, P4,T4 y el grupo E5,P5,T5 cuyos tiempos de sumergimiento fueron de 28 días y 56 días respectivamente.

Sin embargo, con el fin de medir el contenido incial de humedad de todas las muestras, el grupo E6, P6 y T6 se pesó en su estado inicial y posterior a ello se los sometió a secado durante 8 días.

Las imágenes con resultados de pesos y ensayos de RCU serán mostradas en la sección de anexos y los resultados obtenidos en cada proceso serán descritos más adelante.

3.2.2 Análisis de muestras

Anteriormente se indicó que los análisis de compresión simple se iban a realizar de acuerdo a los diferentes tiempos que estuvo cada grupo de muestras bajo el agua.

Por lo tanto, se puede decir que las muestras E1, P1 y T1 que no fueron sumergidas, al momento de someterse al ensayo de compresion tuvieron una mayor duracion antes de fallar. Obteniéndose los valores mas altos para cada una de ellas en sus diferentes especies.

Mientras que las muestras que estuvieron sumergidas en agua 1 semana, 2 semanas, 4 semanas y 8 semanas presentaron el comportamiento esperado, disminuyendo sus valores de resistencia conforme aumenta el contenido de humedad.

3.3 Interpretación de resultados

Luego de haber realizado las respectivas pruebas a cada una de las muestras, se obtuvo la siguente información:

Valores de resistencia a la compresion simple y humedad de las muestras E1, P1 y T1, que fueron sometidas directamente a la acción de la prensa de compresión:

Tabla 3.21. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de E1, P1 y T1.

Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
E1	60	9.45
P1	21.62	11.89
T1	51.29	11.15

A partir de estos resultados obtenidos para los valores de RCU del Eucalipto, Pino y Teca en su estado natural (sin ser sumergidos en agua) se puede decir que la especie de madera con mayor resistencia es el Eucalipto, mientras que la de menor resistencia es el Pino.

Valores de RCU y porcentaje de humedad de las muestras E2, P2 y T2 que fueron sumergidas en agua una semana:

Tabla 3.22. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de las muestras sumergidas en agua durante 1 semana.

Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
E2	39.37	15.27
P2	13.20	33.76
T2	38.96	17.88

Estas muestras antes de fallar, presentaron un leve escurrimiento del agua que habían absorbido durante el período de sumergimiento.

También se puede notar que existe una disminución en cada uno de los valores conforme aumenta el contenido de humedad en cada pieza. Y de igual manera el que mayor resistencia presentó fue el Eucalipto.

Ahora se mostrarán los valores de RCU de las muestras E3, P3 y T3 que fueron sumergidas 2 semanas en agua.

Tabla 3.23. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad de las muestras sumergidas en agua durante 2 semanas.

Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
E3	38.32	14.17
P3	15.56	37.76
T3	34.20	23.34

La disminución en los valores de resistencia es notoria y de igual manera se puede observar que el Eucalipto es mas resistente que las otras especies.

Las muestras de madera que fueron sumergidas al agua 4 semanas, presentaron un mayor escurrimiento antes de fallar, a continuación se muestran los valores obtenidos:

Tabla 3.24. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad correspondientes a las muestras sumergidas en agua durante 4 semanas.

Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
E4	36.96	19.41
P4	13.63	39.66
T4	24.25	27.89

De igual manera los valores de RCU siguen disminuyendo y el porcentaje de humedad es mayor en cada especie, además se puede apreciar que la especie que mayor cantidad de agua ha absorbido es el Pino.

El último grupo de muestras que fue analizado fue el de E5, P5 y T5 que se las sumergió en agua durante 8 semanas, presentando los siguientes resultados:

Tabla 3.25. Valores de RCU y Porcentaje de Humedad correspondientes a las muestras sumergidas en agua durante 5 semanas.

Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
E5	37.08	21.71
P5	11.43	43.73
T5	27.49	29.86

Los resultados obtenidos muestran disminución en los valores de RCU y de igual manera un incremento de humedad. Sin embargo, en la Teca el valor de esfuerzo ha aumentado en pocas unidades, y esto puede ser por cuestiones de dimensiones, o porque los valores ya pueden empezar a estabilizarse y quedar en el rango correspondiente al penúltimo y último valor.

A continuación se presenta una tabla con los resultados finales obtenidos para cada pieza de madera correspondinete al Eucalipto, Pino y Teca. Estos valores pertenecen tanto al esfuerzo, como a la humedad:

Tabla 3.26. Resultados Finales

Especie	Denominación	Esfuerzo (MPa)	% Humedad
Eucalipto	E1	60.00	9.45
	E2	39.37	15.27
	E3	38.33	14.17
	E4	36.96	19.41
	E5	37.09	21.71
	E6	-	9.45
Pino	P1	21.62	11.89
	P2	13.16	33.76
	P3	15.56	37.76
	P4	13.63	39.66
	P5	11.43	43.73
	P6	-	11.89
Teca	T1	51.29	11.15
	T2	38.97	17.88
	T3	34.20	23.34
	T4	24.25	27.89
	T5	27.49	29.86
	T6	-	11.15

Prueba Adicional:

Para determinar de manera real como afecta el contenido de humedad a la madera que se encuentra en el interior de las galerías de trabajo de una mina en actividad, se procedió a realizar una prueba adicional de RCU de un tronco de Eucalipto utilizado en una mina de extracción de oro en el distrito minero Camilo Ponce Enríquez, cuya apariencia antes del corte para las pruebas de compresión es la siguiente:

Figura 3.1. Muestra de Eucalipto usada en fortificación

La pieza de madera anteriormente mostrada fue cortada con el fin de obtener una pieza con dimensiones similares a las anteriormente analizadas, esta nueva muestra se sometió a una prueba de RCU.

A continuación, se presenta una tabla con las dimensiones reales que quedó el tronco luego del corte y los resultados de resistencia a la compresión simple que se obtuvo:

Tabla 3.27 Características de la muestra de Eucalipto usada en mina

Eucalipto usado en mina		
Peso inicial (Kg)	0.40	
Altura (cm)	19.8	
Ancho (cm)	4.8	
Espesor (cm)	4.8	
Volumen (cm^2)	456.19	
Área (cm^2)	23.04	
Densidad Seco (Kg/m^3)	896.55	
Carga de rotura(Kg)	3879	
Resistencia a la compresión simple (MPa)	16.49	

3.3.1 Gráficas de resultados

Comparación de los valores de RCU de las muestras E1, P1 y T1, con un contenido de humedad natural:

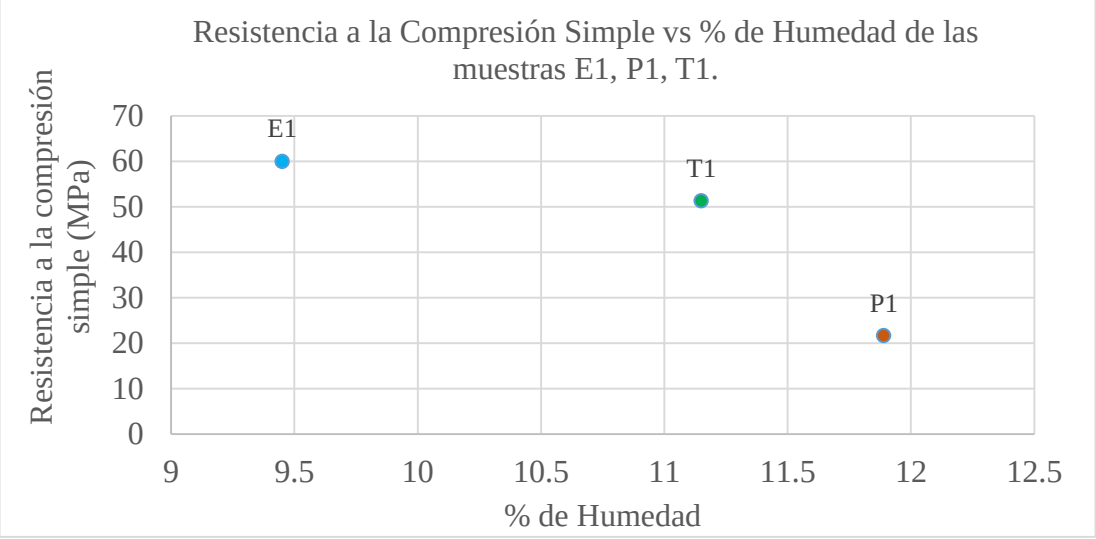


Figura 3.2. Relación entre RCU y % Humedad de E1, P1 y T1

Resultados de las muestras E2, P2 y T2, sumergidas en agua una semana.

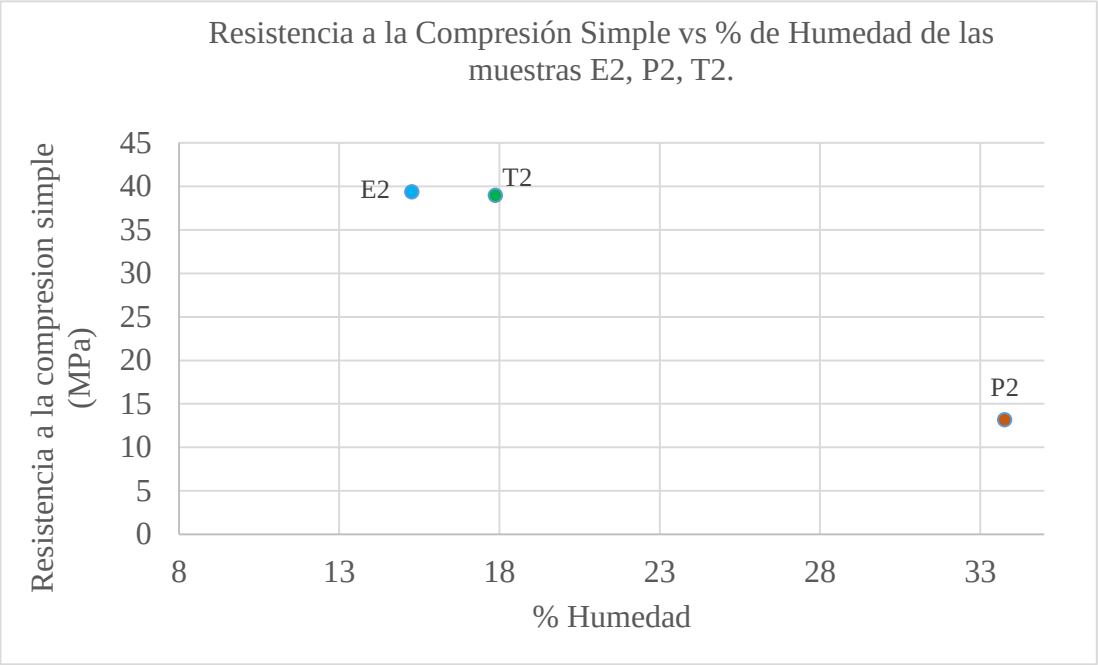


Figura 3.3. Relación entre la RCU y %Humedad de E2, P2 y T2.

Resultados de E3, P3 y T3 sumergidas en agua 2 semanas:

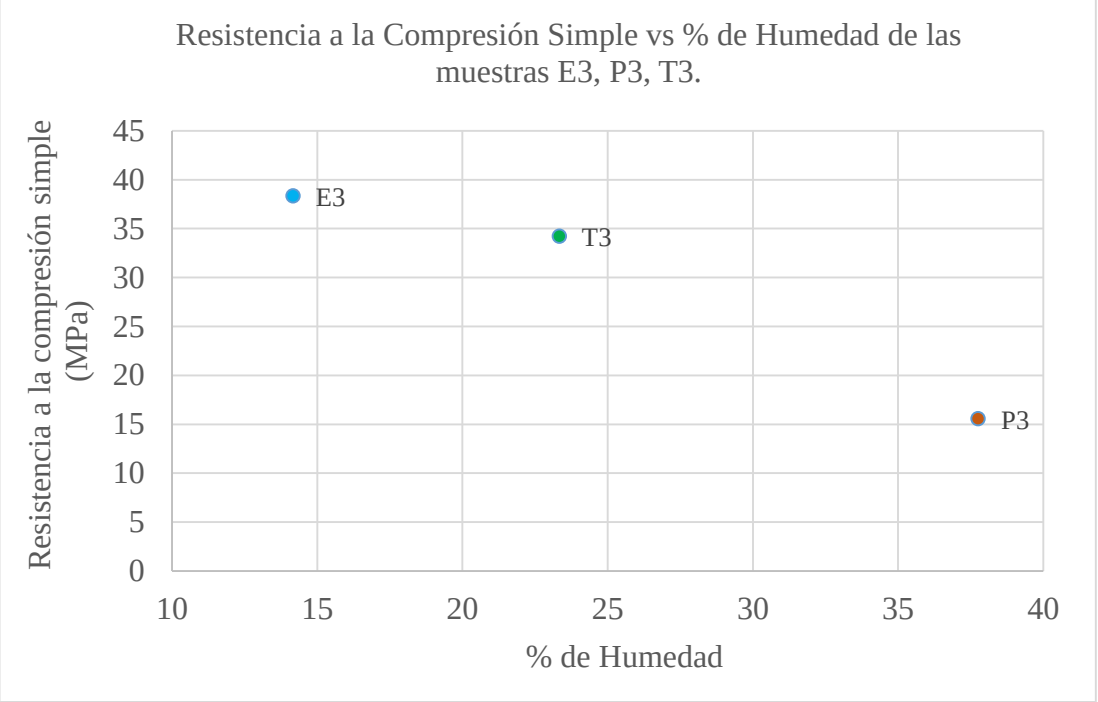


Figura 3.4. Relación entre la RCU y % Humedad de E3, P3 y T3.

Resultados de E4, P4 y T4 sumergidos en agua durante 4 semanas:

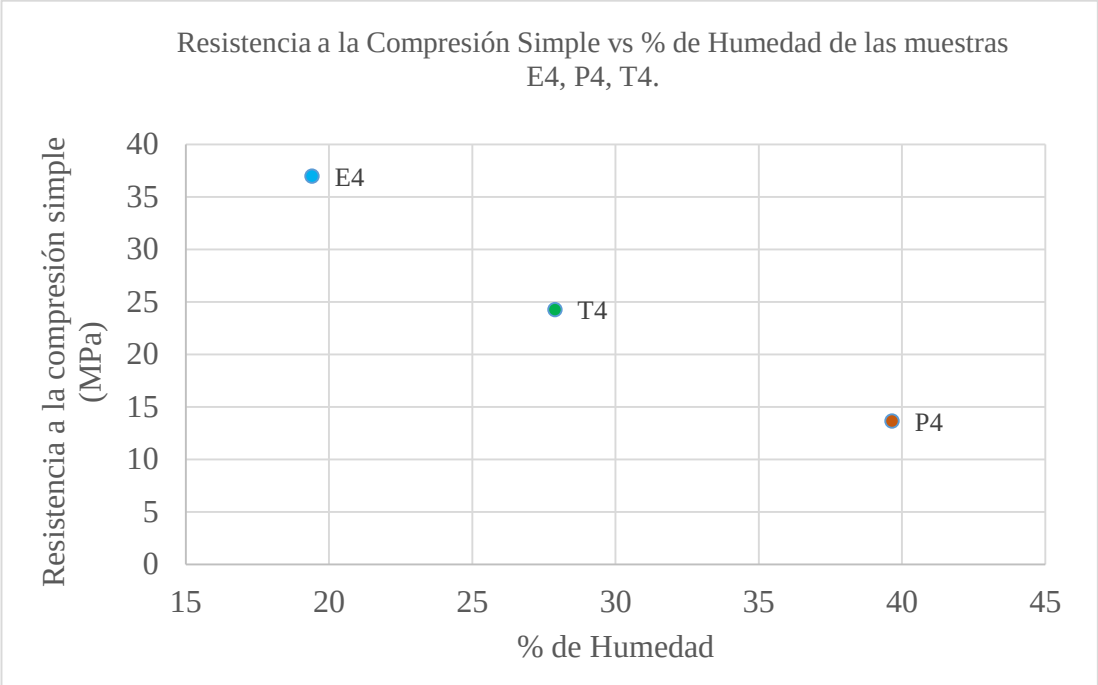


Figura 3.5. Relación entre la RCU y % Humedad de E4, P4 y T4

Resultados de E5, P5 y T5 sumergidos en agua 8 semanas:

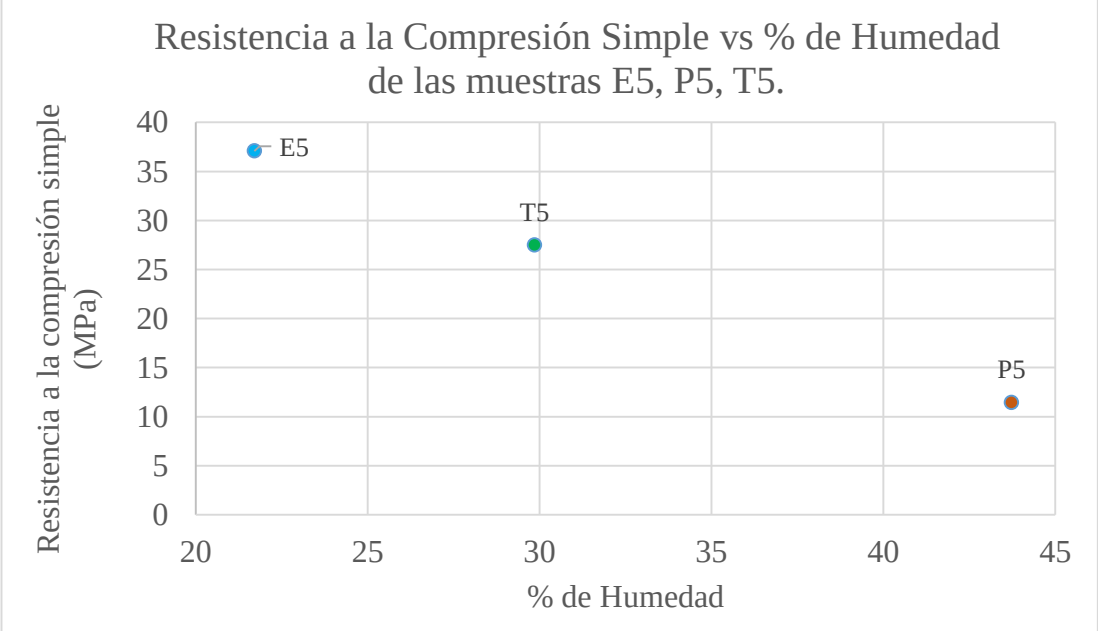


Figura 3.6. Relación entre la RCU y % Humedad de E5, P5 y T5

En los gráficos anteriores se puede divisar que la especie con valor mas alto de resistencia la compresion simple es el Eucalipto, y la que mayor contenido de humedad tiene es el Pino.

A continuación se mostrarán gráficos que representan el incremento del contenido de humedad de acuerdo al tiempo de sumergimiento de cada muestra:

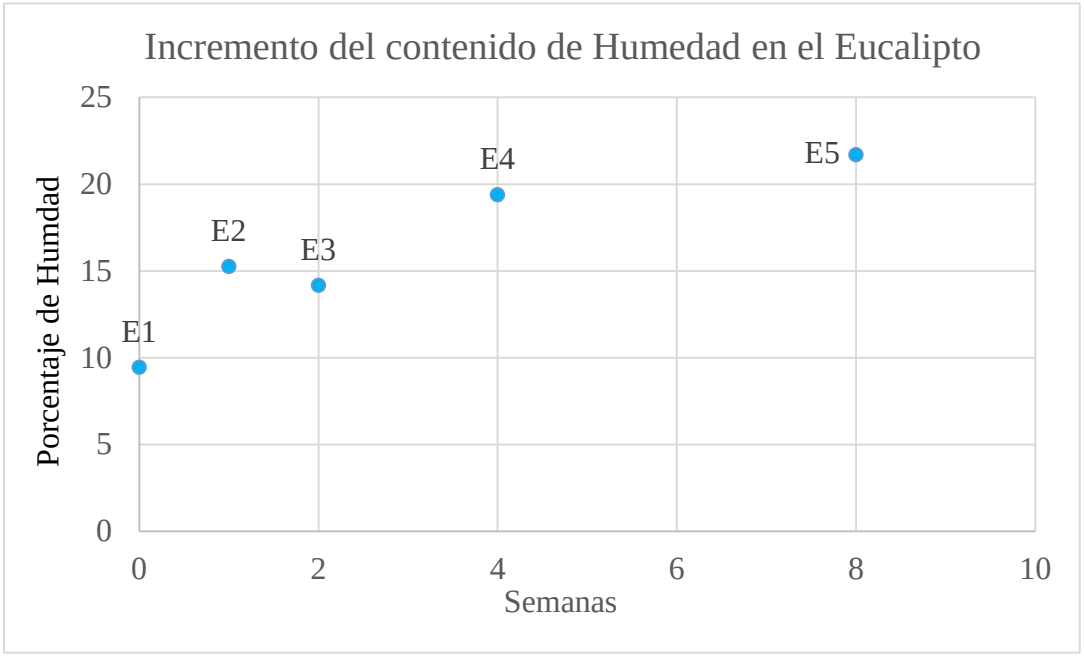


Figura 3.7. Incremento del contenido de Humedad en el Eucalipto.

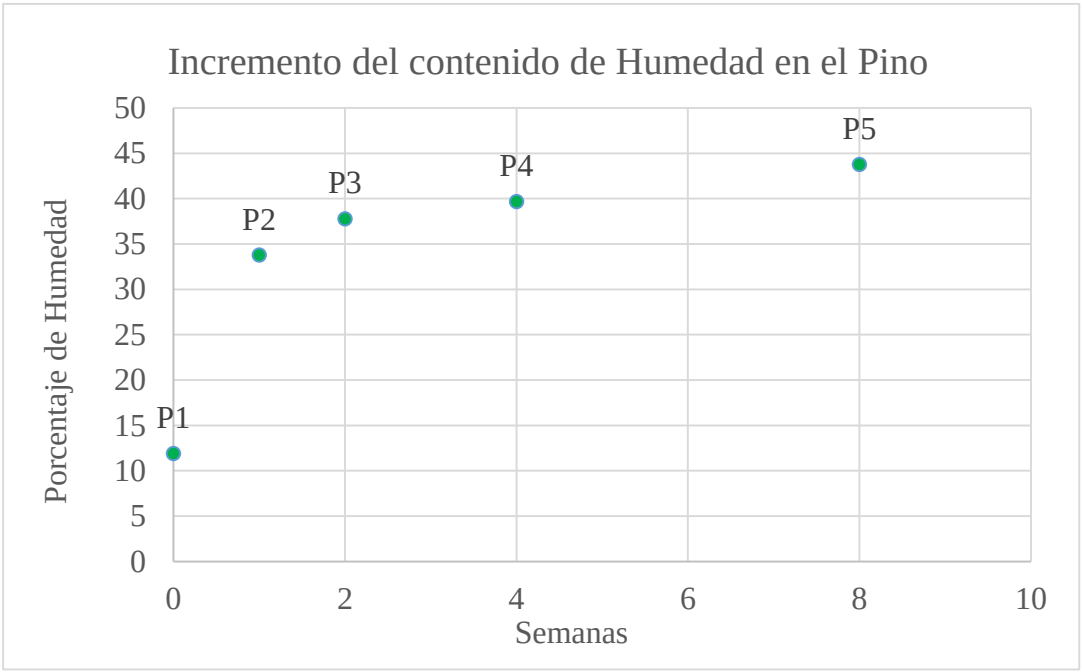


Figura 3.8. Incremento del contenido de Humedad en el Pino

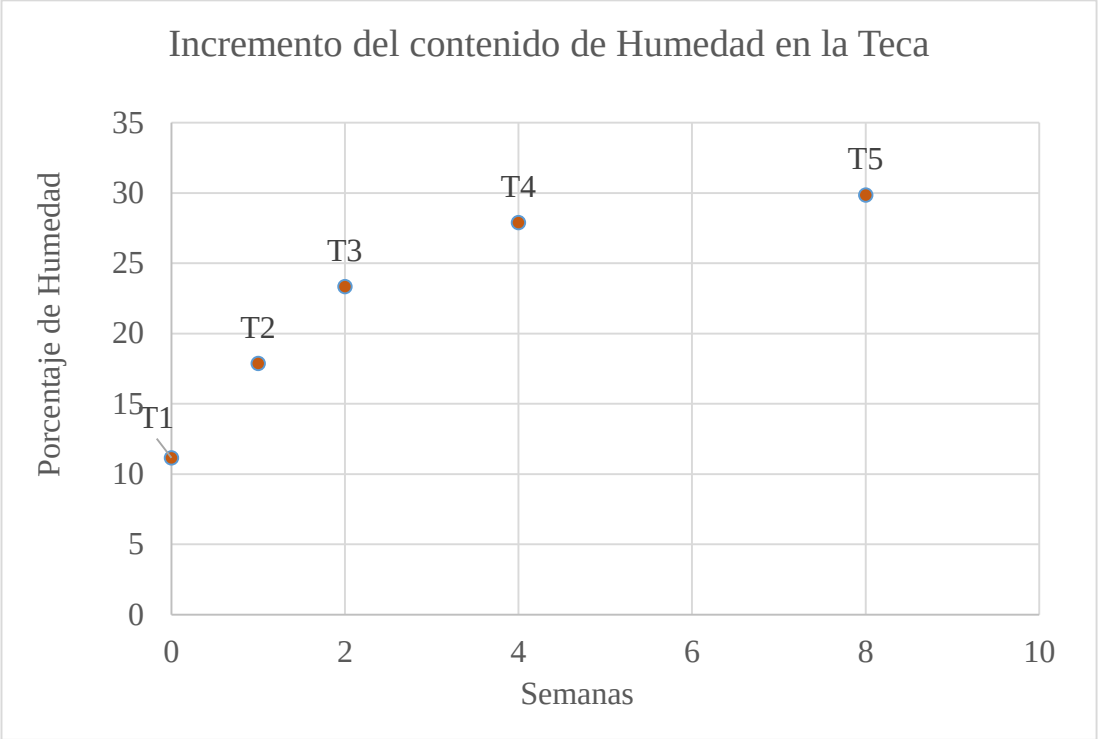


Figura 3.9. Incremento del contenido de Humedad en la Teca.

Variación de los Valores de resistencia a la compresión Simple conforme aumenta el contenido de humedad:

Análisis correspondiente al Eucalipto:

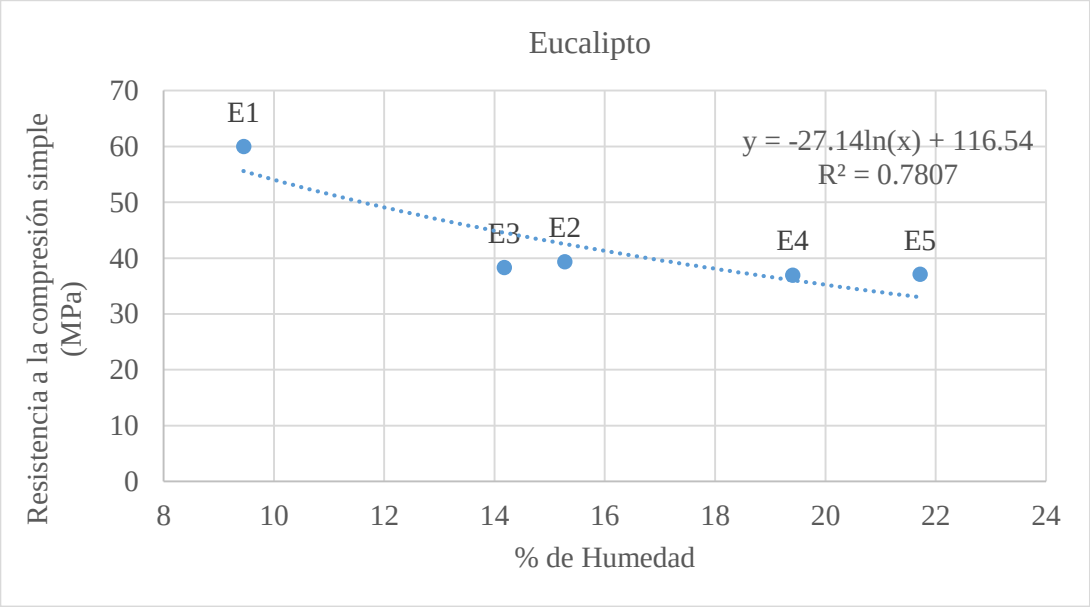


Figura 3.10. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en el Eucalipto.

Análisis correspondiente al Pino:

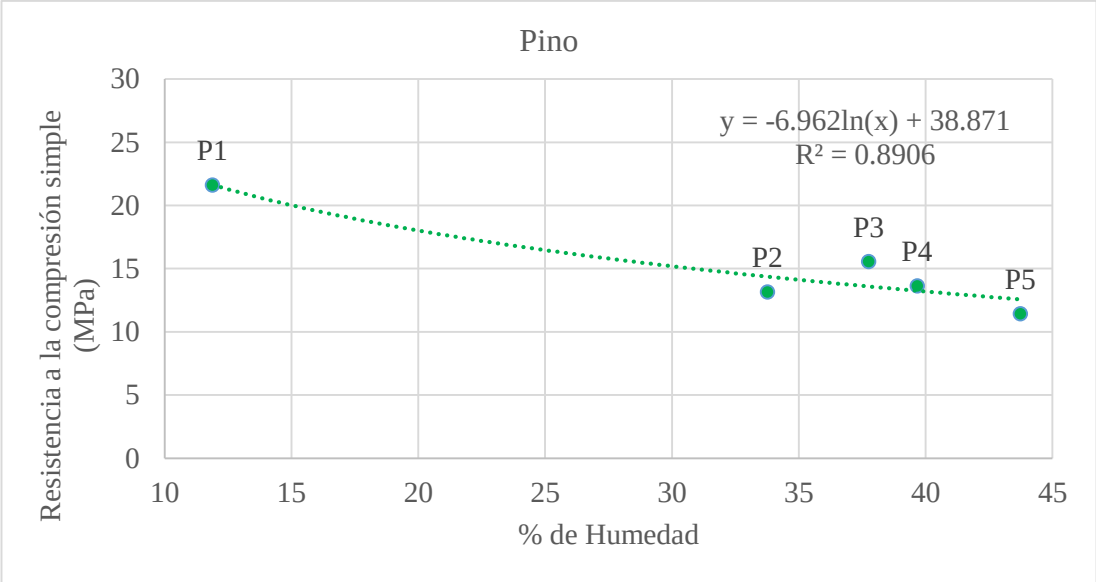


Figura 3.11. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en el Pino.

Análisis correspondiente a la Teca:

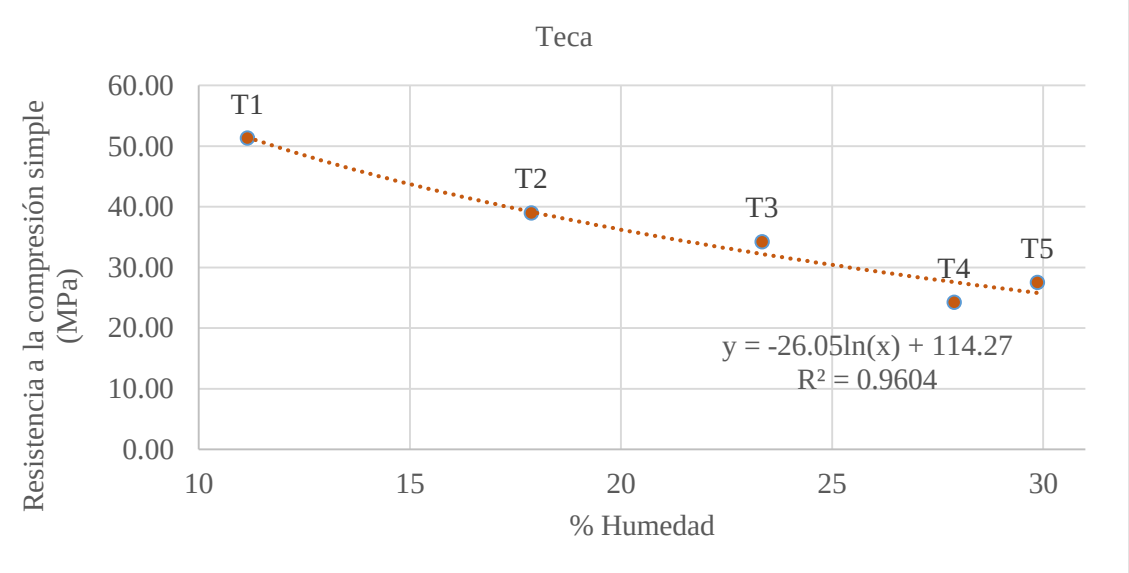


Figura 3.12. Variación de los valores de RCU conforme aumenta el contenido de Humedad en la Teca.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- ✓ Al someter a ensayos de resistencia a la compresión simple a las muestras de Eucalipto, Pino y Teca con su contenido de humedad natural, según los valores obtenidos, la especie que mayor resistencia presentó fue el Eucalipto con una RCU de 60 MPa y de igual manera fue la muestra con mayor peso, mientras que el Pino presentó el peso mas ligero de las tres alternativas y también el valor mas bajo de RCU.
- ✓ Las muestras que fueron sumergidas en agua 1 semana presentan un notable incremento de humedad. Según los resultados, para el Eucalipto el incremento de humedad fue de un 6% aproximadamente, para el Pino fue de un 22% aproximadamente y en el caso de la Teca fue de un 7%. Al incrementarse estos valores de humedad se genera una relación inversamente proporcional con la RCU, ocasionando un descenso bastante notable en ella.
- ✓ A partir de esta segunda prueba se puede decir también que de las tres alternativas la especie que menos cantidad de humedad ha absorbido es el Eucalipto y de igual manera sigue siendo la especie que mayor resistencia presenta (39.37 MPa). En el caso del Pino, al ser la que ha aumentado la humedad en mayor proporción, sus valores de resistencia siguen siendo los mas bajos (13.16 MPa).
- ✓ Si se comparan los valores de resistencia del Eucalipto y de la Teca correspondientes a las muestras del segundo ensayo, se aprecia una leve diferencia entre estos. Sin embargo, el Eucalipto resulta ser el mas resistente.
- ✓ Al analizar los resultados obtenidos en la Tabla 3.23 correspondientes a las muestras de Eucalipto, Pino y Teca que fueron sumergidas en agua durante dos semanas, se puede apreciar que los valores de resistencia la compresion simple han ido disminuyendo conforme había aumentado el tiempo de sumergimiento y el contenido de humedad, demostrando como en el caso anterior, que la madera con mayor resistencia continua siendo el Eucalipto y que la especie que mayor contenido de humedad ha absorbido es el Pino.

- ✓ Conforme se realizaron las pruebas para las muestras que fueron sumergidas en agua 4 y 8 semanas se obtuvo las tablas 3.24 y 3.25, en las que se divisa que la variacion es igual a los casos anteriores y la relacion de RCU y contenido de humedad es inversamente proporcional en todos los casos.
- ✓ Existen pequeñas variaciones en ciertas muestras, como en el caso de la Resistencia a la compresión simple de la Teca en la tabla 3.25 que es mayor en pocas unidades al valor correspondiente a la tabla 3.24, esto puede indicar que el rango de RCU se está estabilizando en la Teca conforme se va saturando con su contenido de humedad.
- ✓ Si se consideran las ecuaciones presentadas en la Figura 3.10, Figura 3.11 y Figura 3.12, cada una de ellas expresa que el valor del eje "y" (valor de RCU) de una muestra correspondiente a cada especie, se puede encontrar reemplazando el valor correspondiente a la humedad (datos de eje x) en dicha ecuación, por lo que para cualquier muestra de las mismas caracteristicas fisicas de las especies analizadas si es sumergida en agua un determinado período de tiempo será suficiente medir solamente su contenido de humedad para saber mediante la ecuación el valor de su resistencia.
- ✓ El resultado de "R^2" que se presenta debajo de cada ecuación de la Figura 3.10, Figura 3.11 y Figura 3.12, es econtrada con el método de mínimos cuadrados que expresa que si el valor de R^2 es cercano a la unidad el análisis es correcto, por lo que en cada caso los resultados son satisfactorios.
- ✓ Después de realizar todas las pruebas de resistencia a la compresión uniaxial se pudo determinar que la especie con mayor resistencia y menor contenido de humedad absorbida fue el Eucalipto.
- ✓ La especie con mayor costo dentro del mercado y con menor eficiencia que el Eucalipto es la Teca, teniendo valores intermedios entre las tres especies estudiadas.
- ✓ La especie con menor resistencia en todas las pruebas y que mayor contenido de humedad absorbio durante cada período fue el Pino.
- ✓ Las muestras que mayor resistencia a la compresión simple presentaron fueron las que se sometieron a los ensayos de RCU directamente con su contenido de humedad natural.

Recomendaciones:

- En el Ecuador, especialmente en el recinto minero Camilo Ponce Enríquez , al llevarse a cabo labores de pequeña minería, es recomendable usar madera para las labores de fortificación, debido al precio y facilidad para conseguir el material.
- Previa la elección de un tipo de madera para fortificar galerías en minas subterráneas, se debe tener en cuenta las propiedades fisicas y mecánicas que ésta posea. Por lo que según los resultados del análisis correspondiente a la resistencia a la compresión simple de las alternativas del uso de maderas en fortificación minera bajo diferentes condiciones de humedad, se recomienda utilizar al Eucalipto. Y cabe recalcar que su precio en el mercado es más accesible que el de las otras dos especies.
- Al momento de utilizar una especie de madera en las labores de fortificación, se recomienda realizar controles semanales relacionados con la variación de su RCU a medida que va aumentando el contenido de humedad en las fibras del material.
- Los resultados obtenidos en este análisis sólo corresponden a la resistencia a la compresión simple de la madera, por lo que se recomienda realizar análisis relacionades con el resto de sus propiedades mecánicas, tales como: flexión, pandeo, tracción y elasticidad.
- Sin embargo, se recomienda realizar el análisis de otro tipo de materiales que puedan ser usados en fortificación de galerías, cuyas propiedades mecánicaas puedan ser mejores o iguales a las de la madera e impidan que se realice daños al ambiente relacionados con el uso de ésta especie.

BIBLIOGRAFÍA

Abascal, J. D. (2018). Fatiga de los materiales y su tolerancia al daño. (en línea), <http://www.elmundo.es/economia/2018/01/16/5a5de0e4e5fdeaad3c8b45e5.html>.

Alvarez, Y. D. (2009). Trabajo de grado para optar el título de ingeniero en Minas y Metalurgia. Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellin, Facultad de Minas, Medellin. (en línea), <http://www.bdigital.unal.edu.co/855/1/8029815_2009.pdf> Consulta: 21 de 03 de 2016.

ARQHYS, R. (2012). Propiedades de la Madera. Revista ARQHYS, 12.

Bañón, L. (2011). Estructuras de hormigón armado y pretensado.

Criollo, E. (2017). Mejoramiento de la calidad de la madera a utilizar en fortificaciones interior mina. Tesis gradual. Recuperado el 11 de 07 de 2018.

Davis, H. E.-.., & al.], [. (2009). Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería. (en línea), <http://www.biblio.unlp.edu.ar/catalogo/opac/cgi bin/pgopac.cgi?QSA=1.15958>

Gharagozlou, Y. (2017). INSTRON. (en línea), <http://www.instron.com.ar/es-ar/ourcompany/library/glossary/c/compressive-strength> Consulta: 21 de 07 de 2018.

(2002). Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura. Consulta: 23 de 03 de 2018.

Imaz, R. (2012). Resistencia de Materiales. (en línea), <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1101/course/section/1308/Tema%203%20Resistencia.pdf>.

INSTRON. (2017). INSTRON. (en línea), <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>.

Jiménez, J. d. (2011). Influencia de la humedad de la madera en la evaluación de las propiedades mecánicas del pino silvestre mediante técnicas no destructivas. Madrid. (en línea), <http://oa.upm.es/36492/1/PFC_JAIME_DE_LA_MATA_JIMENEZ.pdf>. Consulta: 10 de 05 de 2018

Juan Pedro Sari Chalco & Daniel Enrique Rodas Andrade. (2013). "Propuesta del sistema de fortificacion que se debe emplear a lo largo de la veta F-10 de la mina subterranea Liga De oro de la empresa minera SOMILOR S.A. (en línea) <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4316/1/tesis.pdf>.

KEIM ECOPAINT IBERICA S.L . (2014). LIVOS. (en línea), <http://www.livos.es/sites/default/files/documentos/consejos/Humedad%20ambiental%20y%20agua%20sobre%20la%20madera.pdf> , Consulta:08 de 05 de 2018.

Ledezma, D. R. (2016). Fortificación en Minas.(en línea), <https://es.slideshare.net/JorgeMartínez412/apuntes-curso-fortificacion-de-minas>, Consulta: 23 de 03 de 2018.

Madera, T. d. (2007). Tecnología de la Madera. (en línea), <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas>, Consulta:23 de 03 de 2018.

Minera, F. (13 de 06 de 2016). Fortificación minera. (en línea), <http://fortificacionminera.blogspot.com/>, Consulta: 27 de 07 de 2018.

Minería Futura, S.A. (2017).,(en línea), <http://www.mineriafutura.com/servicios/servicios-mineros/fortificacion-de-tunel>, Consulta: 27 de 07 de 2018.

Porto, J. P. (2013). (en línea), <https://definicion.de/pandeo/>.

Ramírez, Y. D. (2009). Diseño y evaluación de los ademes de madera, en la empresa C.I CARMINALES. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.(enlínea),<http://www.bdigital.unal.edu.co/855/1/8029815_2009.pdf>, Consulta: 08 de 05 de 2018.

Resa, R. (2016). Geología de la Empresa SOMILOR S.A. Consulta: 12 de 06 de 2018.

Santiago Vignote Peña, I. M. (2005). Tecnología de la madera. México, México: Mundi-Prensa (en línea), <https://books.google.com.ec/books?id=Jn-sFcOqCzwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&output=reader&pg=GBS.PA6> Consulta: 22 de 03 de 2016.

Sernageomin. (2014). Guía de Operación para la Pequena Minería. Chile.

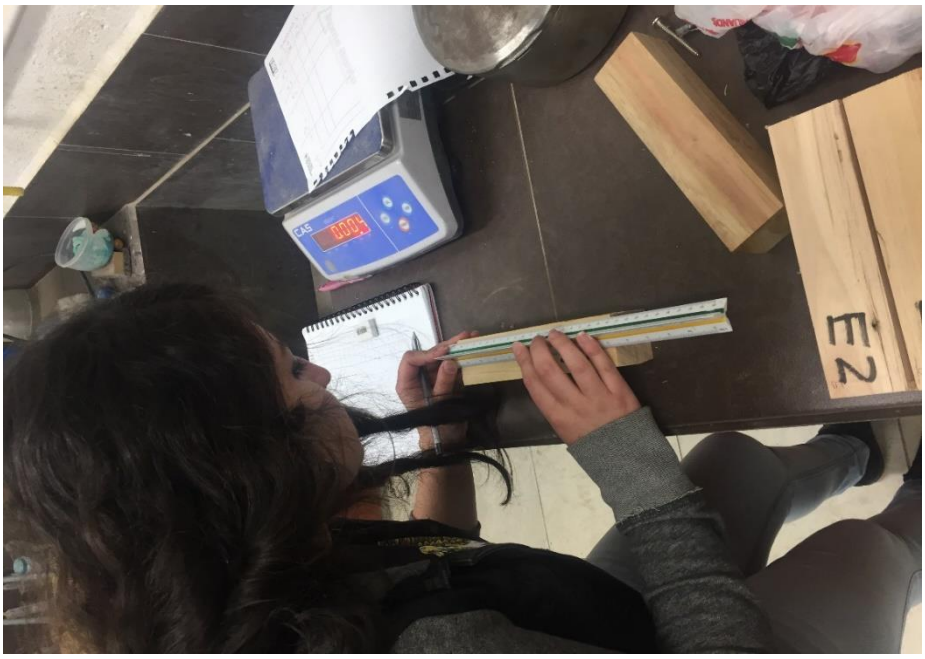
Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica. Consulta: el 21 de 07 de 2018.

Vinueza, I. M. (28 de 10 de 2012). Ecuador Forestal (en línea), <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-6-guayacan>.

Vinueza, I. M. (23 de 07 de 2013). Ecuador Forestal (en línea), <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>.

ANEXOS

Anexo 1. Medición de muestras



Anexo 2. Peso natural de E6

Anexo 3. Peso de la muestra T2

Anexo 4. Ensayo de compresión simple de P2

Anexo 5. Muestra E3 luego del ensayo de RCU

Anexo 6. Peso húmedo de P4

Anexo 7 Peso húmedo de T5

Anexo 8. Ensayo de RCU de E5

Anexo 9. Muestra E5 luego de ensayo de RCU

Anexo 10 Peso de muestra de Eucalipto usado en mina

Anexo 11. Ensayo de RCU de la muestra de Eucalipto usado en mina

Anexo 12. Muestra de Eucalipto usado en mina luego de ensayo de RCU