



**Sustitución de madera natural por madera plástica para uso en minería subterránea de  
carbón en el municipio de Samacá**

John Fredy Sierra Matamoros

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Diciembre de 2024

**Sustitución de madera natural por madera plástica para uso en minería subterránea de  
carbón en el municipio de Samacá**

John Fredy Sierra Matamoros

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesora  
Doris Amanda Rosero García  
Microbióloga, M.Sc., PhD.  
Posdoctorado en Microbiología Ambiental

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Rectoría Virtual  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos  
Diciembre de 2024

## Contenido

Lista de tablas .....	5
Lista de figuras .....	6
Resumen .....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Descripción del problema.....	11
1.2 La pregunta de investigación.....	13
1.3 Los objetivos de investigación .....	13
1.3.1 Objetivo general .....	13
1.3.2 Objetivos específicos .....	13
1.4 Justificación de la investigación .....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1. Marco de Antecedentes.....	16
2.2. Marco Teórico .....	17
2.2.1 Minería de carbón subterránea .....	17
2.2.2 Sostenimiento empleado en minas .....	18
2.2.3 Ensayos de esfuerzo mecánico .....	18
2.3. Marco normativo .....	19
3. METODOLOGÍA .....	21
3.1. Enfoque y alcance de la investigación .....	21
3.2. Población y muestra.....	21
3.2.1. Definición de la población .....	21
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra.....	22
3.3. Instrumento(s) .....	22
3.4. Descripción de procedimientos .....	22
3.4.1. Diarios de campo.....	22
3.4.2. Fichas de registro.....	23

3.5. Análisis de información.....	24
3.6. Consideraciones éticas.....	24
3.6.1. Análisis de consideraciones éticas.....	24
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Ensayos de compresión simple y flexión en maderas .....	25
4.1.1. Ensayo resistencia a la compresión simple en madera plástica.....	25
4.1.2 Ensayo resistencia a la flexión en madera plástica.....	27
4.1.3 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera natural.....	28
4.1.4 Ensayo resistencia a la flexión en madera natural .....	29
4.1.5 Comparativo precios de maderas .....	30
4.1.6 Codificación de datos.....	30
4.2. Análisis de datos .....	32
4.2.1 Ensayo resistencia a la flexión en madera plástica.....	32
4.2.2 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera plástica .....	33
4.2.3 Ensayo resistencia a la flexión en madera natural .....	35
4.2.4 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera natural.....	36
4.2.5 Comparativo de flexión entre la madera plástica y la madera natural .....	37
4.2.6 Comparativo de compresión simple entre la madera plástica y la madera natural.....	38
4.2.7 Comparativo de precios entre la madera plástica y la madera natural .....	39
5. DISCUSIÓN .....	40
6. CONCLUSIONES.....	42
7. RECOMENDACIONES.....	43
Bibliografía .....	45

## Lista de tablas

Tabla 1. <i>Diario de campo prueba de compresión simple madera plástica</i> -----	26
Tabla 2. <i>Diario de campo prueba de flexión madera plástica</i> -----	27
Tabla 3. <i>Diario de campo prueba de compresión simple madera natural</i> -----	28
Tabla 4. <i>Diario de campo prueba de flexión madera natural</i> -----	29
Tabla 5. <i>Comparativo precios maderas</i> -----	30
Tabla 6. <i>Fichas de registro</i> -----	31

## Lista de figuras

Figura 1: <i>Resultados ensayo flexión en la madera plástica</i> .....	33
Figura 2: <i>Resultados ensayo compresión simple en la madera plástica</i> .....	34
Figura 3: <i>Resultados ensayo flexión en la madera natural</i> .....	35
Figura 4: <i>Resultados ensayo compresión simple en la madera natural</i> .....	36
Figura 5: <i>Comparativos ensayos de flexión entre las dos maderas</i> .....	37
Figura 6: <i>Comparativos ensayos de compresión simple entre las dos maderas</i> .....	38
Figura 7: <i>Comparativo de precios entre la madera plástica y la madera natural</i> .....	39

## Resumen

Este trabajo de investigación, con una metodología cuantitativa, se centró en la evaluación técnica de la viabilidad de sustituir la madera natural por madera plástica en proyectos de explotación minera de carbón en el municipio de Samacá, Boyacá. Para ello, se realizaron pruebas de esfuerzo mecánico a la madera plástica y se compararon los resultados con los obtenidos al evaluar la madera natural bajo las mismas condiciones. Además, se llevó a cabo un análisis comparativo de precios entre ambos materiales, con el fin de validar las diferencias económicas. Cabe destacar que uno de los principales objetivos de este estudio fue promover el cuidado del medio ambiente y apoyar el desarrollo sostenible de la región, a través de la incorporación de materiales más amigables con el entorno. Este enfoque cuantitativo permitió obtener datos objetivos y medibles que respaldan las conclusiones del estudio, facilitando la toma de decisiones informadas para futuras aplicaciones en el sector minero.

*Palabras clave: Madera plástica, reciclaje, minería subterránea, sostenibilidad, medio ambiente.*

## **Abstract**

This research work, with a quantitative methodology, focused on the technical evaluation of the feasibility of substituting natural wood for plastic wood in coal mining projects in the municipality of Samacá, Boyacá. For this purpose, mechanical stress tests were carried out on plastic wood and the results were compared with those obtained when evaluating natural wood under the same conditions. In addition, a comparative price analysis was carried out between both materials in order to validate the economic differences. It should be noted that one of the main objectives of this study was to promote environmental care and support the sustainable development of the region through the incorporation of more environmentally friendly materials. This quantitative approach allowed obtaining objective and measurable data that support the conclusions of the study, facilitating informed decision making for future applications in the mining sector.

*Key words: Plastic wood, recycling, subway mining, sustainability, environment.*

## Introducción

La minería subterránea es una de las principales fuentes de extracción de carbón en diversas partes de Colombia, para llevar a cabo este proceso de manera eficiente y segura, se utilizan materiales que garanticen la estabilidad de las galerías subterráneas (Gobierno de Colombia, 2018). Tradicionalmente, la madera natural ha sido un recurso clave en la construcción de soportes y estructuras de soporte en este tipo de minería debido a su resistencia y flexibilidad. Sin embargo, en los últimos años la creciente preocupación por la sostenibilidad y los efectos negativos de la explotación maderera ha impulsado la búsqueda de alternativas que puedan sustituir a la madera natural. (Cruz, Alonso, & Zitzumbo, 2015). En este contexto, la madera plástica emerge como una opción viable para reemplazar la madera tradicional debido a sus características como mayor durabilidad y menor impacto ambiental. Este estudio se centró en analizar la viabilidad de utilizar madera plástica en minería subterránea, mediante pruebas de compresión simple y flexión, con el fin de comparar su desempeño con el de la madera natural en condiciones de uso específico. El problema de investigación radica en determinar si la madera plástica es una alternativa adecuada y rentable para el reemplazo de la madera natural en la minería subterránea de carbón.

Este estudio se basó en la necesidad de reducir el impacto ambiental de la minería subterránea y encontrar materiales que ofrezcan una mayor durabilidad y resistencia sin comprometer la seguridad de los trabajadores. La madera plástica, como material reciclable y de bajo mantenimiento, podría ser una solución efectiva para este fin, contribuyendo a la sostenibilidad en la industria minera. (Fuentes, Vanegas, & Torres, 2021)

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar las propiedades mecánicas de la madera plástica, específicamente en compresión simple y flexión, y compararlas con las de la madera natural. Además, se realizó un análisis de costos que permitió determinar la viabilidad económica de su implementación en la minería subterránea. Para alcanzar estos objetivos, se llevó a cabo una serie de estudios de laboratorio en los que se sometieron muestras de madera plástica y madera natural a ensayos mecánicos estándar para evaluar su resistencia y comportamiento bajo condiciones de carga.

Los resultados permitieron determinar si la madera plástica presenta una resistencia comparable o superior a la madera natural, así como una evaluación económica que indicó si su implementación en la minería subterránea de carbón es una opción viable y sostenible.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

La minería subterránea de carbón es una actividad económica del sector primario que por muchos años ha contribuido con el desarrollo sostenible de departamentos como Boyacá, para realizar este tipo de actividad, las minas requieren de diferentes materias primas como es la madera natural.

En la mayoría de los casos la madera que se utiliza es el eucalipto debido a sus características de resistencia ante los esfuerzos que se generan producto de la operación minera

La estructura de sostenimiento o entibación de estos túneles es construida en madera; su objetivo es brindar el soporte y la estabilidad mecánica de muros y techos y evitar accidentes por desprendimientos imprevistos de las rocas en el socavón, por insuficiente cohesión. (Bolívar, triviño, & Garcia, 2015, pág. 107)

Con el pasar de los años, una problemática que ha tomado fuerza para el desarrollo de la operación minera de carbón en Boyacá es la escasez de este insumo, la cual es de primera necesidad para poder realizar las labores de sostenimiento que requieren las vías subterráneas de cada mina. Esta escasez se debe a la alta demanda que tiene el sector y a la poca gestión de diferentes actores para la reforestación de zonas taladas.

Por otro lado, como menciona (MONGABAY, 2023)

El informe de deforestación presentado por la ministra de Ambiente, Susana Muhamad, detalla el comportamiento de la pérdida de bosques por trimestres. El primer trimestre del 2022 fue el más crítico pues allí se concentró el 63 % de la deforestación, esto quiere

decir que de las 123 517 hectáreas de bosque que perdió el país, 77 816 fueron destruidas entre enero y marzo. En el segundo trimestre se perdieron 11 116 hectáreas (9 %), en el tercer trimestre fueron arrasadas 13 587 (11 %) y entre octubre y diciembre se perdieron 20 998 hectáreas de bosque (17 %).

Buscar alternativas para contrarrestar las problemáticas del sector minero no solo contribuye a resolver las necesidades de la operación en las minas, sino que también se busca, por un lado, reducir la tala de bosques y, por otro, aprovechar de manera más eficiente los plásticos residuales. Además, implementar estas soluciones de manera responsable y sostenible puede ayudar a minimizar el impacto ambiental de la minería, promoviendo un uso más consciente de los recursos naturales. De lograr estos objetivos, no solo se daría un gran paso hacia la preservación de los ecosistemas, sino que también se fomentaría una minería más verde y alineada con los principios de economía circular, lo que contribuiría al cuidado del medio ambiente y al desarrollo sostenible a largo plazo.

Para el caso de la minería de mediana y gran escala tanto de oro como de carbón, al igual que en otros sectores de la economía, el interés por el cuidado del medio ambiente está directamente relacionado ya sea por las exigencias del gobierno o del cliente final; sin embargo, y para aquellas empresas mineras más comprometidas se empieza a observar un cambio en el tema de competitividad minera, cuyo paradigma inicia con: “quien tiene los mayores depósitos”, pasando por: “quien tiene la tecnología de extracción menos costosa” y finalmente llegando a: “quien tiene la tecnología más limpia”. Éste cambio de paradigma se hace evidente con el surgimiento de organizaciones como el Consejo Internacional de Minería y Metales, que fomenta entre sus asociados prácticas

conducentes al desarrollo sostenible y la producción responsable de los recursos de minerales y metales. (Carmona, Cardona, & Restrepo, 2017)

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Se puede sustituir la madera natural por madera plástica para realizar proyectos de explotación minera subterránea de carbón en el municipio de Samacá?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la viabilidad de utilizar madera plástica como reemplazo de la madera natural en proyectos de explotación minera en el municipio de Samacá a través de un estudio técnico que genere sus respectivas recomendaciones.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Evaluar la resistencia de la madera plástica mediante pruebas de esfuerzo mecánico, para comprender sus características estructurales.

Evaluar la resistencia de la madera tradicional utilizada en la actualidad mediante pruebas de esfuerzo mecánico, para comprender sus características estructurales.

Analizar los resultados de los ensayos de ambas maderas, junto con su costo, para evaluar la viabilidad de su aplicación en proyectos mineros y sus posibles beneficios en términos de desempeño y sostenibilidad.

#### **1.4 Justificación de la investigación**

La justificación nació de la necesidad de realizar un estudio sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, particularmente en el contexto de la explotación minera en el municipio de Samacá. La tala de árboles para satisfacer las demandas de los proyectos mineros ha generado un impacto negativo sobre los ecosistemas locales, contribuyendo a la deforestación y afectando la biodiversidad. Este escenario, sumado a la creciente preocupación global por la preservación de los recursos naturales, subraya la urgencia de explorar alternativas más sostenibles. En este sentido, se hace necesario evaluar opciones que reduzcan el impacto ambiental de la minería, promoviendo prácticas responsables que favorezcan tanto el desarrollo económico como la conservación de los ecosistemas.

Los métodos de explotación minera requieren materiales de alta resistencia, lo que implica una constante búsqueda de alternativas que sean eficientes, rentables y respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, la madera plástica, un material reciclado e innovador, emerge como una posible solución. Este material tiene el potencial de reducir la dependencia de la madera natural, ayudando a preservar los bosques y los recursos naturales, al mismo tiempo que ofrece características mecánicas adecuadas para satisfacer las necesidades del sector minero.

El objetivo de esta investigación fue analizar la viabilidad de utilizar la madera plástica como reemplazo de la madera tradicional en proyectos de explotación minera, mediante un estudio técnico que permitió comparar ambos materiales en cuanto a resistencia y costos. A través de la evaluación de la resistencia de la madera plástica mediante pruebas de esfuerzo mecánico, se obtuvieron datos cruciales sobre su desempeño en comparación con la madera

natural, lo que facilitó la determinación de su viabilidad en aplicaciones mineras. Además, el estudio de las propiedades estructurales de la madera tradicional proporcionó una base sólida para entender las diferencias y establecer si la madera plástica puede ser una alternativa viable sin comprometer la seguridad ni la eficacia de los proyectos.

El análisis no solo se centró en las propiedades mecánicas de ambos materiales, sino también en su costo, lo cual es esencial para evaluar la viabilidad económica de su implementación. A su vez, se consideraron los beneficios de utilizar madera plástica desde una perspectiva de sostenibilidad, ya que este material contribuye a la reducción de la tala de árboles y fomenta el reciclaje de plásticos, alineándose con los principios de la economía circular y el desarrollo sostenible.

Este estudio tuvo como propósito proporcionar a los actores del sector minero de Samacá una base sólida para tomar decisiones informadas sobre el uso de la madera plástica como alternativa a la madera natural. Con ello, se busca promover prácticas mineras más responsables, apoyando la sostenibilidad en la región sin sacrificar la calidad ni la eficiencia de las operaciones.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Marco de Antecedentes

Según (Rodríguez & Vergara, 2021) en su análisis ambiental, el departamento de Boyacá, reconocido por su gran potencial de explotación de carbón subterráneo, enfrenta un dilema: a pesar de ser un área con grandes oportunidades de desarrollo en el sector minero, “para la minería a gran escala en Boyacá, se debe prestar especial atención a la dimensión ambiental de la extracción minera” Este análisis resalta la necesidad de explorar alternativas que puedan mitigar el impacto ambiental de la minería en la región, lo que justifica la investigación de materiales más sostenibles para las operaciones mineras.

De acuerdo con (Neira, Giler, & Quevedo, 2020) en su documento de la máquina de reciclaje de plástico como un emprendimiento viable, el uso de plásticos es una de las principales fuentes de contaminación ambiental, dado que su descomposición es extremadamente lenta, afectando especialmente a los ecosistemas marinos. Esta situación hace urgente la búsqueda de soluciones que permitan aprovechar los plásticos reciclados, como la madera plástica, en sectores como la minería, donde el material utilizado no vuelve a salir a superficie y su degradación es más controlada.

Según (Ojeda, Mercante, & Fajardo, 2020) en su artículo de diseño y ensayo de fibras plásticas recicladas, la creciente generación de residuos sólidos, incluida la acumulación de plásticos, plantea un desafío considerable para el desarrollo de nuevas formas de reciclaje y reaprovechamiento de materiales. “El incremento en la generación de residuos sólidos supone un desafío para el desarrollo de nuevas formas de reciclaje y reaprovechamiento de los materiales”.

Este aprovechamiento debe realizarse dentro de un marco legal y sostenible, que promueva el equilibrio entre el ser humano y la naturaleza.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1 Minería de carbón subterránea**

Como lo define el ministerio de minas y energía de Colombia (Ministerio de minas y energía, 2003):

Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Casi desde el principio de la Edad de Piedra, hace 2,5 millones de años o más, viene siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores del Homo sapiens empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La minería de superficie se remonta a épocas mucho más antiguas que la agricultura. (p. 108)

### **2.2.2 Sostenimiento empleado en minas**

También denominado Entibado según el ministerio de minas y energía (Ministerio de minas y energía, 2003):

Acciones y dispositivos aislados o estructuras de cualquier naturaleza que sirven para mantener abiertos los espacios de la mina con una sección suficiente para la circulación del personal, del aire y el tráfico de equipos. La fortificación, además, tiene por finalidad impedir el derrumbe de los techos, mantener la cohesión de los terrenos y evitar la caída de trozos de roca de cualquier dimensión. 2. Se refiere al uso estructural de ciertos elementos para controlar la deformación o la caída de la roca de techo en las labores subterráneas. (p. 55)

En la minería subterránea de Colombia la entibación es construida en su mayoría por elementos de madera.

### **2.2.3 Ensayos de esfuerzo mecánico**

Pruebas de laboratorio realizadas a muestras en diferentes materiales, según (Instron, 2020):

Los ensayos de compresión son uno de los tipos más fundamentales de pruebas mecánicas, junto con las pruebas de tracción y flexión. Los ensayos de compresión se utilizan para determinar el comportamiento de un material bajo cargas de aplastamiento aplicadas y, por lo general, se realizan aplicando presión de compresión a una muestra de prueba (generalmente de geometría cúbica o cilíndrica) utilizando placas o accesorios especializados en una máquina universal de ensayos. Durante la prueba, varias propiedades del material se calculan y trazan

como un diagrama de tensión-deformación que se utiliza para determinar cualidades tales como límite elástico, límite proporcional, punto de deformación, límite de fluencia y, para algunos materiales, resistencia a la compresión.

### **2.3. Marco normativo**

El marco normativo que regula la actividad minera en Colombia es amplio y está diseñado para garantizar la explotación de recursos naturales de manera técnica, segura y respetuosa con el medio ambiente. A continuación, se describen algunas de las principales normas que rigen la minería en el país, especialmente aquellas relacionadas con la seguridad minera, la exploración y la explotación de recursos:

Según (GOV.CO, Funcion Publica, Gestor normativo, Ley 685, s.f.): la Ley 685 de 2001 Código de Minas Emitido por el Ministerio de Minas y Energía, el Código de Minas establece las directrices para el fomento de la exploración, explotación y comercialización de recursos mineros en Colombia. Su objetivo principal es promover la exploración técnica, la explotación racional y armónica de los recursos mineros, al mismo tiempo que regula los derechos y deberes de los titulares de concesiones mineras. Esta ley también establece normas para la conservación y protección del medio ambiente durante las actividades mineras, así como para la restauración de áreas afectadas por la minería. La Ley 685 de 2001 busca equilibrar el desarrollo del sector minero con la responsabilidad ambiental y social.

Según el (GOV.CO, Agencia Nacional de Minería decreto 1886 de 2015, 2016): el Decreto 1886 de 2015 – Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas, este decreto, emitido por el Ministerio de Minas y Energía, establece el reglamento de seguridad para

las labores mineras subterráneas. El objetivo es proteger la salud y seguridad de los trabajadores que desarrollan actividades en minas subterráneas, estableciendo normas y procedimientos específicos para prevenir accidentes y asegurar condiciones de trabajo seguras. Este reglamento abarca desde las condiciones estructurales de las minas hasta las medidas preventivas que deben adoptarse para minimizar riesgos en el trabajo subterráneo, promoviendo un ambiente laboral más seguro y controlado.

De acuerdo con (GOV.CO, Agencia Nacional de Minería, s.f.): el Decreto 35 de 1994 – Disposiciones en Materia de Seguridad Minera Emitido también por el Ministerio de Minas y Energía, este decreto establece medidas y procedimientos aplicables a las actividades mineras con el fin de garantizar la seguridad en los procesos de explotación minera. El Decreto 35 de 1994 regula aspectos cruciales relacionados con la seguridad en las minas, incluyendo la capacitación de los trabajadores, la planificación y supervisión de las actividades mineras, así como el establecimiento de normas para la prevención de riesgos y accidentes. Esta normativa es esencial para fomentar prácticas seguras en la minería, protegiendo tanto a los trabajadores como al entorno.

Según la función pública (GOV.CO, Funcion Publica, s.f.): Decreto 1072 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo Este decreto, emitido por el Ministerio del Trabajo, compila y regula las disposiciones relacionadas con el sector laboral en Colombia, incluidas las normas de seguridad y salud en el trabajo. Aunque no está dirigido exclusivamente a la minería, el Decreto 1072 de 2015 establece principios generales y específicos de protección laboral que son aplicables en el contexto minero. Su propósito es garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable, regulando temas como la prevención de riesgos laborales, las

condiciones de trabajo, y las responsabilidades de los empleadores en cuanto a la protección de la salud y bienestar de los trabajadores.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque y alcance de la investigación**

La metodología seleccionada para el desarrollo de la presente investigación es la de ruta cuantitativa, esto debido a que el problema a resolver está basado y depende del comportamiento físico de la madera plástica cuando se somete a esfuerzos, y requiere de datos técnicos que sean medibles para poder cuantificarlos y compararlos con estudios realizados anteriormente con madera natural. De esta manera se pueden obtener los resultados que permiten validar la viabilidad de poder sustituir el producto en mención.

La investigación del presente trabajo se basa en pruebas físicas de compresión simple y flexión realizadas en condiciones controladas y manipuladas directamente por el investigador.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Definición de la población**

En el presente estudio, la población está constituida por un total de cien unidades de madera plástica y cien unidades de madera natural. Estas unidades fueron seleccionadas como parte del material objeto de investigación, con el fin de analizar sus características y comportamiento. La población incluye todas las unidades de madera plástica utilizadas en el

estudio, y de esta población se extrajo una muestra representativa para realizar los análisis correspondientes.

### **3.2.2. Cálculo y selección de la muestra**

Las muestras se seleccionaron de forma aleatoria tomando 6 muestras de madera natural (Eucalipto) y 6 muestras de madera plástica. De las cuales tres para realizar pruebas de compresión simple y las otras tres para realizar pruebas de flexión por cada tipo de madera.

### **3.3. Instrumento(s)**

Para realizar la recolección de información de la investigación se han seleccionado dos herramientas, los diarios de campo y las fichas de registro.

Las fichas de registro son documentos que se aplican en la recolección de información, estas nos permiten captar y sintetizar las ideas y los propósitos más importantes de las pruebas en la investigación.

### **3.4. Descripción de procedimientos**

#### **3.4.1. Diarios de campo**

En cada sesión de pruebas, el diario de campo se utilizará para anotar detalles sobre las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo las mediciones. Esto incluye:

- Fecha y hora de las pruebas

- Características de las muestras como son sus dimensiones
- Descripción del procedimiento
- Descripción del tipo de máquina de compresión utilizada y la presión aplicada
- Observaciones cualitativas

### **3.4.2. Fichas de registro**

Cada ficha de registro contiene campos específicos para los datos que se van a medir, estos son:

- Resistencia a la compresión (PSI)
- Resistencia a la flexión (PSI)
- Carga máxima aplicada antes de la rotura
- Desviación estándar, si se realizan múltiples mediciones para cada tipo de madera

Las fichas de registro también incluyen campos que identifican cada muestra de madera de manera única, incluyendo:

- Tipo de madera (natural o plástica)
- Dimensiones de la muestra
- Especificación del material
- Número de identificación de la muestra

### **3.5. Análisis de información**

El análisis de los datos recolectados se realizó utilizando herramientas estadísticas y gráficas generadas con Microsoft Excel, lo que permitió una interpretación visual clara y precisa de los resultados. Excel fue fundamental para organizar, procesar y analizar los datos, ya que ofrece diversas funciones que facilitaron la elaboración de tablas dinámicas y la creación de gráficas de comportamiento. Las gráficas generadas incluyen tipos como las de barras y líneas, que fueron empleadas para representar las variaciones y tendencias en las características de las unidades de madera estudiadas.

Primero, los datos fueron ingresados en hojas de cálculo de Excel, donde se organizaron según las diferentes variables de interés. Posteriormente, se realizaron análisis descriptivos que permitieron identificar patrones de comportamiento y variabilidad en las unidades de madera. Con la herramienta de gráficos de Excel, se generaron representaciones visuales que facilitaron la interpretación de los resultados.

La visualización de los datos mediante Excel no solo permitió identificar tendencias importantes, sino que también facilitó la comunicación clara de los resultados obtenidos, sirviendo como base para la discusión y las recomendaciones finales de este estudio.

### **3.6. Consideraciones éticas**

#### **3.6.1. Análisis de consideraciones éticas**

La responsabilidad profesional de la condición de investigador demanda la producción de un producto de valor para la ciencia, no sólo en el sentido práctico o monetario, sino

sobre todo en su esencia para el bien de la Humanidad. Esta responsabilidad obliga a pensar en el valor ético tanto del producto de la investigación, sino también de los medios empleados para producirlo y los efectos que ese proceso tuvo para los sujetos involucrados o afectados directa o indirectamente por la investigación (Canese de Estigarribia; M. I, 2015)

De acuerdo con el autor, esta investigación se realiza de forma ética y transparente sin ninguna intención de ofender a cualquier parte interesada en el trabajo.

Para comprobar estas hipótesis, se realizarán pruebas empíricas, es decir, mediciones directas y controladas de las propiedades físicas de ambas maderas, mediante pruebas de compresión simple y pruebas de flexión. Los resultados obtenidos permitirán analizar si las diferencias en el comportamiento de los materiales son estadísticamente significativas.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Ensayos de compresión simple y flexión en maderas**

#### **4.1.1. Ensayo resistencia a la compresión simple en madera plástica**

Se realizan tres pruebas de compresión simple a tres muestras distintas de madera plástica conservando sus mismas dimensiones, las pruebas se realizan en una prensa electrohidráulica.

Los resultados se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** *Diario de campo prueba de compresión simple madera plástica*

<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:10am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera comenzó a deformarse a una carga de 600 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1000 PSI con una deformación de 1,4 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 18°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	1	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:20am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera comenzó a deformarse a una carga de 550 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 950 PSI con una deformación de 1,5 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 18°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	2	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:35am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 480 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 980 PSI con una deformación de 1,3 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 19°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	3	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	

#### 4.1.2 Ensayo resistencia a la flexión en madera plástica

Se realizan tres pruebas de flexión a tres muestras distintas de madera plástica conservando sus mismas dimensiones, las pruebas se realizan en la misma prensa electrohidráulica utilizada en las pruebas de compresión simple. Los resultados se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Diario de campo prueba de flexión madera plástica*

<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:50am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra comenzó a deformarse a una carga de 550 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 600 PSI con una deformación de 1cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 19°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	4	
Prueba realizada:	Flexión	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	10:15 a. m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra comenzó a deformarse a una carga de 500 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 550 PSI con una deformación de 1,1 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 19°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	5	
Prueba realizada:	Flexión	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	11 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	10:25 a. m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 400 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 600 PSI con una deformación de 1,4 cm.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 20°C	
Muestra de madera:	Madera plástica	
Numero de muestra	5	
Prueba realizada:	Flexión	

Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.
------------------	----------------------------------	---

#### 4.1.3 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera natural

Se realizan tres pruebas de compresión simple a tres muestras distintas de madera natural (Eucalipto), la cual es utilizada en proyectos mineros en el municipio de Samacá, conservando las mismas dimensiones de la madera plástica (h=16cm, a=16cm, l=100cm), las pruebas se realizan en la misma prensa electrohidráulica utilizada en las pruebas de compresión simple en un día diferente en los mismos horarios. Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** *Diario de campo prueba de compresión simple madera natural*

<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:10am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 700 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1700 PSI con una deformación de 2,5 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 17°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	
Numero de muestra	1	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:20am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 650 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1600 PSI con una deformación de 2,3 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 17°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	
Numero de muestra	2	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones

Hora:	09:35am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 720 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1700 PSI con una deformación de 2,4 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 17°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	
Numero de muestra	3	
Prueba realizada:	Compresión simple	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	

#### 4.1.4 Ensayo resistencia a la flexión en madera natural

Se realizan tres pruebas de flexión a tres muestras distintas de madera natural (Eucalipto), la cual es utilizada en proyectos mineros en el municipio de Samacá, conservando las mismas dimensiones de la madera plástica (h=16cm, a=16cm, l=100cm), las pruebas se realizan en la misma prensa electrohidráulica utilizada en las pruebas de compresión simple en un día diferente en los mismos horarios. Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** *Diario de campo prueba de flexión madera natural*

<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	09:50am	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 450 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1200 PSI con una deformación de 5,5 cm.</li> <li>•No se observaron defectos visibles antes de la prueba.</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 17°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	
Numero de muestra	4	
Prueba realizada:	Flexión	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones
Hora:	10:15 a. m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 470 PSI.</li> <li>•La fractura ocurrió a 1100 PSI</li> </ul>
Condiciones Ambientales:	Temperatura 18°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	

Numero de muestra	5	con una deformación de 5 cm. •No se observaron defectos visibles antes de la prueba.
Prueba realizada:	Flexión	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	
<b>DIARIO DE CAMPO</b>		
Fecha:	10 de Abril 2024	Observaciones •La muestra de madera natural comenzó a deformarse a una carga de 480 PSI. •La fractura ocurrió a 1100 PSI con una deformación de 6 cm. •No se observaron defectos visibles antes de la prueba.
Hora:	10:25 a. m.	
Condiciones Ambientales:	Temperatura 18°C	
Muestra de madera:	Madera natural Eucalipto	
Numero de muestra	5	
Prueba realizada:	Flexión	
Equipo utilizado	Prensa Hidráulica Idimsa 150 Ton	

#### 4.1.5 Comparativo precios de maderas

Los precios actuales de las maderas objeto de estudio en el municipio de Samacá se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** *Comparativo precios maderas*

Descripción	Dimensiones	Precio Unitario sin Iva
Madera natural (Eucalipto) aserrada	16cm x 16cm x 250cm	\$ 43.750
Madera plástica	16cm x 16cm x 250cm	\$ 135.000

#### 4.1.6 Codificación de datos

La codificación de datos se realiza una vez se hacen los ensayos correspondientes, se utiliza la siguiente nomenclatura la cual es inscrita en las fichas de registro:

M: Madera

N: Natural

P: Plástica

PC: Prueba de compresión simple

PF: Prueba de flexión

1: Numero de prueba

Esta codificación se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** *Fichas de registro*

FICHA DE REGISTRO						
Muestra ID	Tipo de madera	Dimensiones	Prueba realizada	Carga Maxima (PSI)	Deformacion (cm)	Observaciones
MP-PC-1	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	1000	1,4	
MP-PC-2	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	950	1,5	
MP-PC-3	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	980	1,3	
MP-PF-1	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	600	1	
MP-PF-2	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	550	1,1	
MP-PF-3	Plastica	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	600	1,4	
MN-PC-1	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	1700	2,5	
MN-PC-2	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	1600	2,3	
MN-PC-3	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Compresion simple	1700	2,4	
MN-PF-1	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	1200	5,5	
MN-PF-2	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	1100	5	
MN-PF-3	Natural	16cm x 16cm x 100cm	Flexion	1100	6	

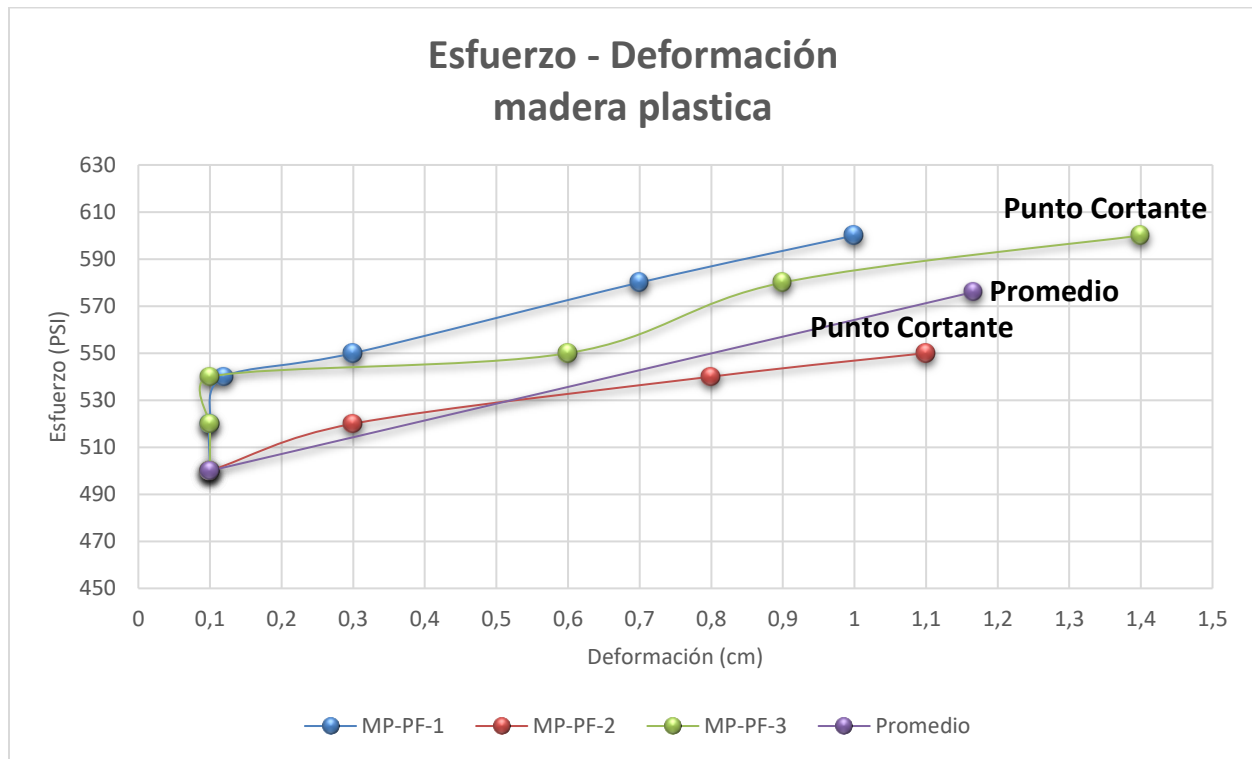
## **4.2. Análisis de datos**

### **4.2.1 Ensayo resistencia a la flexión en madera plástica**

Las pruebas de flexión son fundamentales para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales bajo cargas que generan deformaciones. Este tipo de pruebas son especialmente relevantes cuando se comparan materiales con aplicaciones estructurales, como la madera natural y la madera plástica, la flexión mide la capacidad de un material para resistir fuerzas que intentan doblarlo sin fracturarse.

La prueba de flexión se realiza en tres puntos, la cual es un estándar en la industria para este tipo de medición, consiste en colocar un material de prueba apoyado en dos puntos y aplicar una carga en el centro hasta que ocurra la deformación o ruptura. Esta metodología se emplea tanto para la madera natural como para la madera plástica, garantizando que las condiciones de carga y las dimensiones del material sean idénticas para ambos, lo que permite una comparación justa y directa. Los resultados de estos ensayos se muestran en la figura 1.

**Figura 1:** Resultados ensayo flexión en la madera plástica



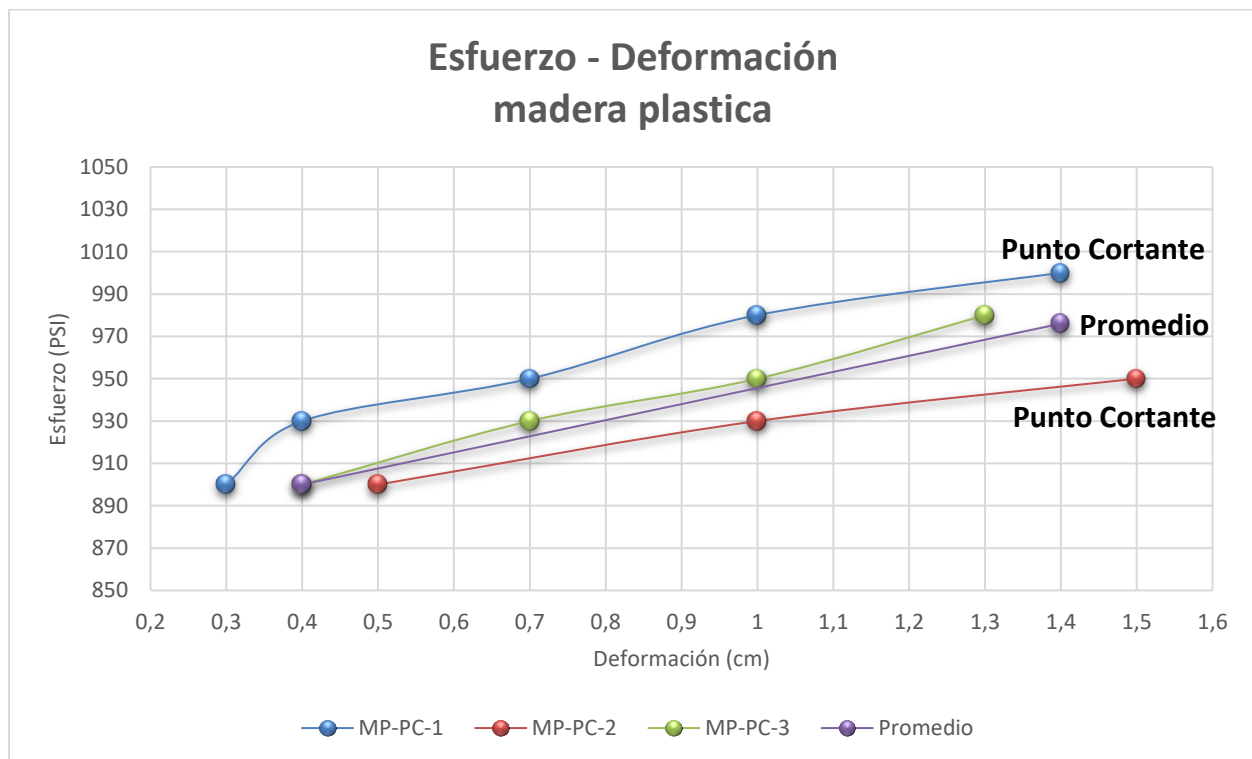
Se puede observar que a medida que aumenta la fuerza también aumenta la deformación hasta llegar al punto cortante. Luego de realizar los ensayos con las tres muestras se saca el promedio de estas, obteniendo como resultado que la fuerza máxima soportada es de 576 PSI antes de llegar al punto cortante, el cual es el que se busca en la presente investigación.

#### 4.2.2 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera plástica

Las pruebas de compresión simple son fundamentales para evaluar la capacidad de un material para resistir fuerzas de compresión que actúan en la dirección axial. Estas pruebas son esenciales cuando se comparan materiales que se utilizan en aplicaciones estructurales, como la madera natural y la madera plástica. La prueba consiste en aplicar una carga axial sobre un

material hasta que se alcanza su punto de fallo o una deformación significativa (Punto cortante). Este procedimiento se lleva a cabo utilizando muestras de material de idénticas dimensiones y forma para garantizar que los resultados obtenidos sean comparables. Los resultados de estos ensayos se muestran en la figura 2.

**Figura 2:** Resultados ensayo compresión simple en la madera plástica



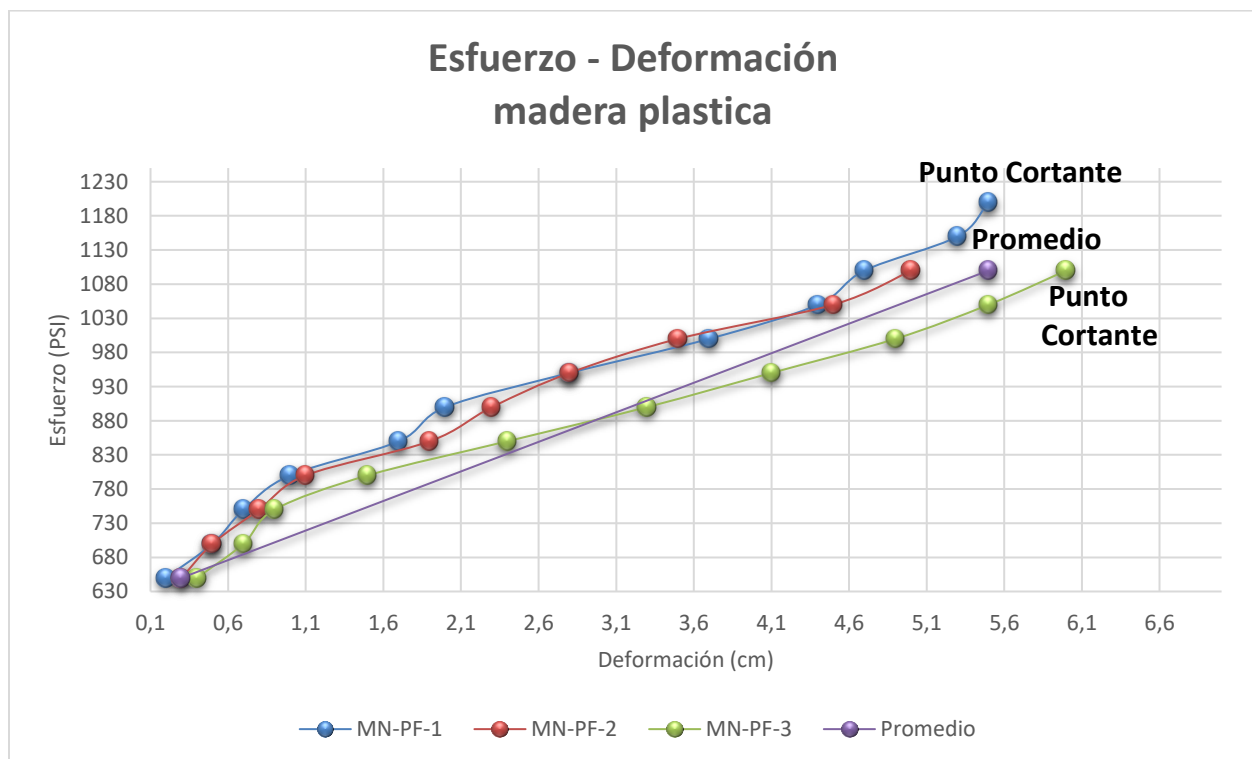
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que a medida que aumenta la fuerza también aumenta la deformación hasta llegar al punto cortante. Luego de realizar los ensayos con las tres muestras se saca el promedio de estas, obteniendo como resultado que la fuerza máxima soportada es de 976 PSI antes de llegar al punto cortante, con una elasticidad de 1,4 cm.

### 4.2.3 Ensayo resistencia a la flexión en madera natural

En la figura 3 se puede observar que a medida que aumenta la fuerza también aumenta la deformación hasta llegar al punto cortante. Luego de realizar los ensayos con las tres muestras se saca el promedio de estas, obteniendo como resultado que la fuerza máxima soportada de la madera natural es de 1100 PSI antes de llegar al punto cortante, con una elasticidad de 5,5 cm.

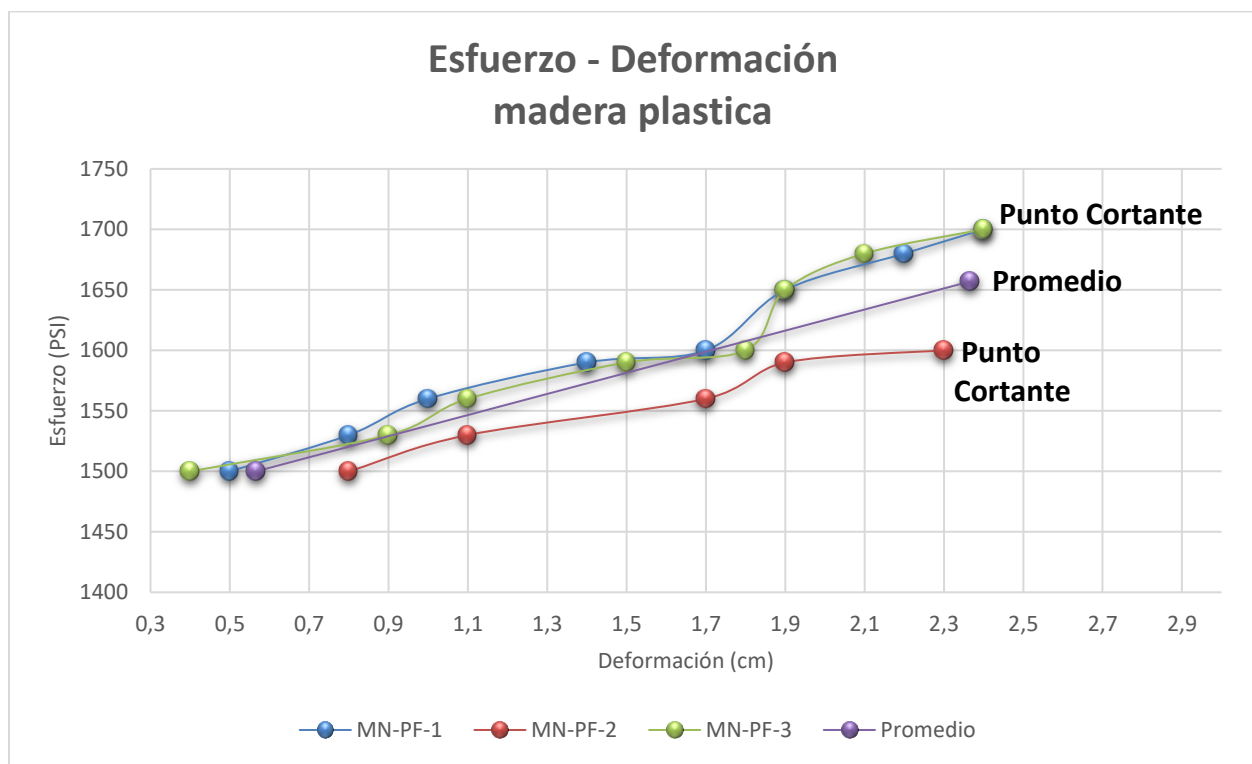
**Figura 3:** Resultados ensayo flexión en la madera natural



#### 4.2.4 Ensayo resistencia a la compresión simple en madera natural

En la figura 4 se puede observar que a medida que aumenta la fuerza también aumenta la deformación hasta llegar al punto cortante. Luego de realizar los ensayos con las tres muestras se saca el promedio de estas, obteniendo como resultado que la fuerza máxima soportada de la madera natural es de 1657 PSI antes de llegar al punto cortante, con una elasticidad de 2,37 cm.

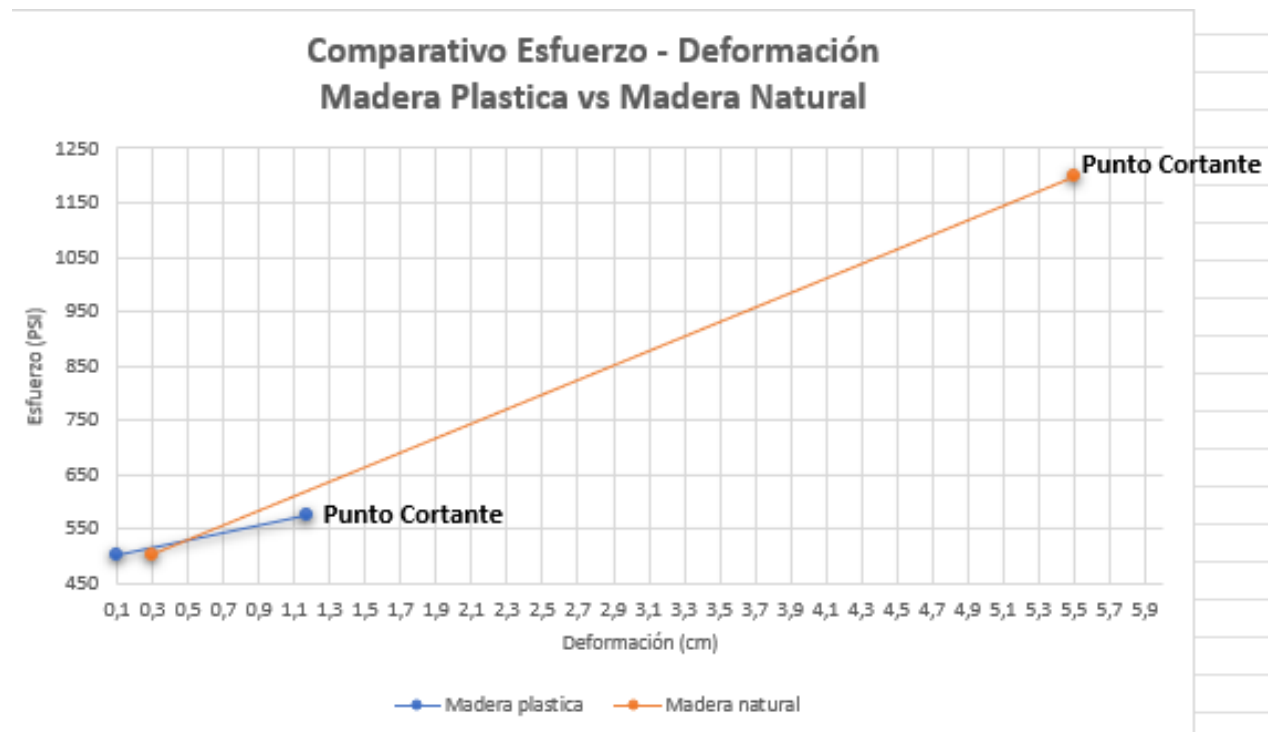
**Figura 4:** Resultados ensayo compresión simple en la madera natural



#### 4.2.5 Comparativo de flexión entre la madera plástica y la madera natural

En la figura 5 se puede observar el comparativo del comportamiento de los promedios de las pruebas de flexión realizadas a las dos maderas. Según los resultados, la madera natural soporta el 90,9 % más de esfuerzo.

**Figura 5:** Comparativos ensayos de flexión entre las dos maderas

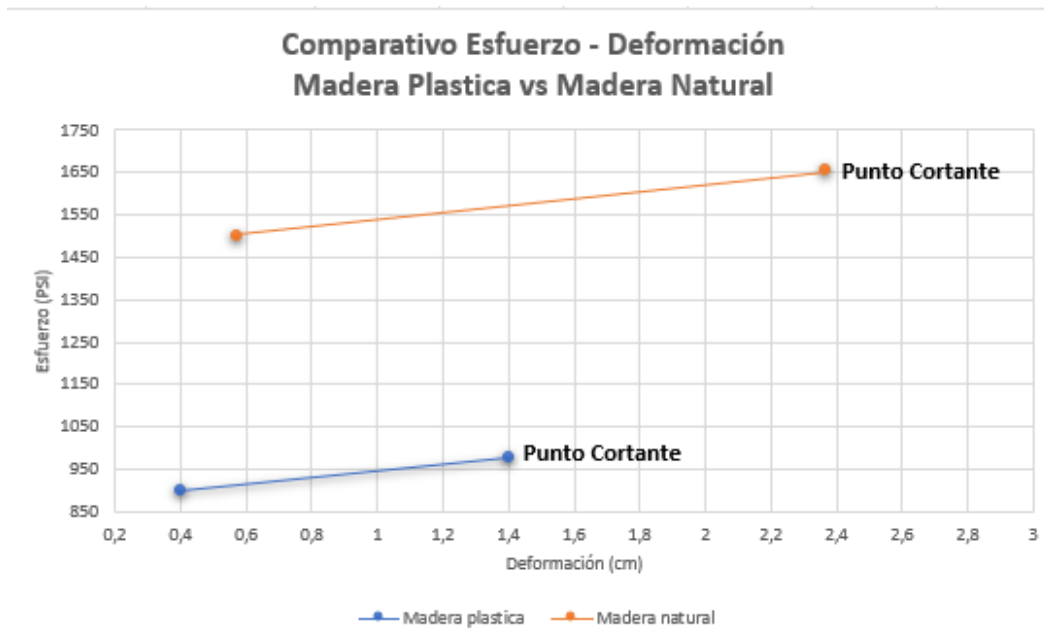


Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6 Comparativo de compresión simple entre la madera plástica y la madera natural

En la figura 6 se puede observar el comparativo del comportamiento de los promedios de las pruebas de compresión simple realizadas a las dos maderas. Según los resultados, la madera natural soporta el 69,7 % más de esfuerzo.

**Figura 6:** Comparativos ensayos de compresión simple entre las dos maderas

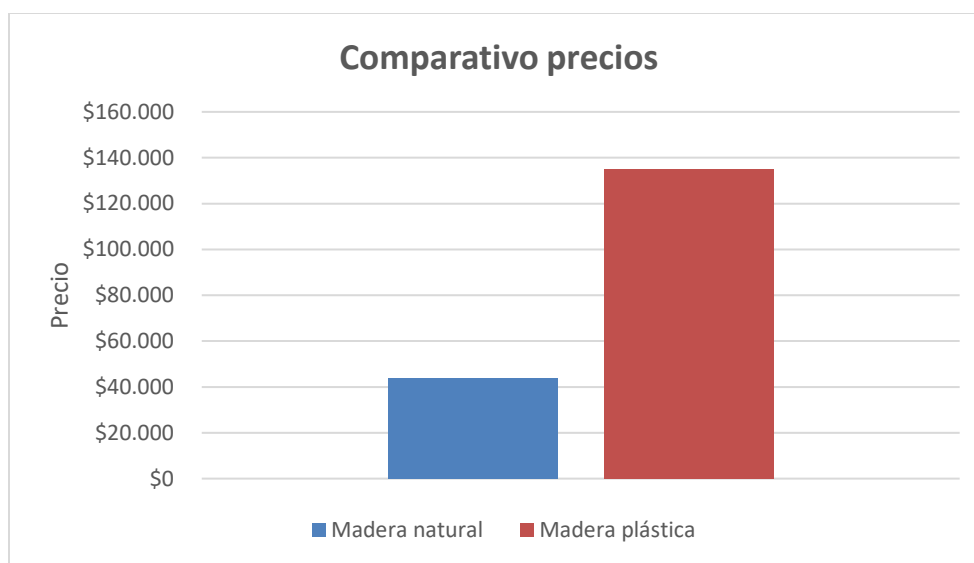


Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.7 Comparativo de precios entre la madera plástica y la madera natural

En la figura 7 se presenta el comparativo de los precios entre las dos maderas, estos datos son calculados teniendo en cuenta que las dimensiones de las dos maderas son iguales para que los resultados puedan ser comparables. La madera plástica puede ser hasta un 308% más costosa.

**Figura 7:** *Comparativo de precios entre la madera plástica y la madera natural*



Fuente: Elaboración propia

## 5. DISCUSIÓN

En esta investigación se llevó a cabo un estudio comparativo entre la madera plástica y la madera natural con el objetivo de evaluar su desempeño bajo condiciones de esfuerzo estructural y su viabilidad económica para su aplicación en proyectos de minería subterránea. Este tipo de minería implica ambientes altamente exigentes, donde los materiales deben ser capaces de soportar cargas elevadas, resistir la deformación y garantizar la seguridad y estabilidad a largo plazo (Minenergia, UPTC, 2019). Con este fin, se realizaron pruebas de flexión y compresión simple, además de un análisis comparativo de costos, para determinar cuál de los dos materiales presenta las mejores características para su uso en este entorno específico.

El diseño de los sistemas de ademes en las minas es un proceso meticuloso que sigue una serie de pasos fundamentales para garantizar su estabilidad y seguridad. En primer lugar, se elaboran esquemas del sistema y se desarrollan modelos estáticos simples, lo que permite evaluar la presión mediante diversas fórmulas. A partir de estos cálculos, se determinan los diagramas de momentos, los momentos máximos, los esfuerzos cortantes máximos y las secciones expuestas a estos factores, lo cual permite definir las dimensiones de los elementos estructurales (Biron, 1987, pág. 61). En este contexto, los mismos principios de diseño pueden aplicarse para calcular la cantidad y densidad de madera plástica necesaria como material de sostenimiento en las galerías mineras. Sin embargo, el uso de madera plástica, al ser menos resistente que otros materiales tradicionales, puede resultar en un mayor consumo de material para cumplir con las exigencias de resistencia estructural.

Las pruebas de flexión y compresión, así como el análisis de costos, indican que la madera natural es el material más adecuado para la minería subterránea, especialmente en el

contexto de los sistemas de ademes. Su mayor resistencia estructural y su costo más bajo la hacen más viable para aplicaciones de soporte en túneles y galerías mineras. No obstante, la madera plástica, con sus propiedades de durabilidad y resistencia ambiental, puede ser útil en aplicaciones donde la exposición a condiciones extremas de humedad y descomposición sea un factor crítico. La selección final del material dependerá de las condiciones geotécnicas específicas, los requerimientos de carga y el presupuesto disponible.

## 6. CONCLUSIONES

Se evaluó la resistencia de la madera plástica mediante pruebas de esfuerzo mecánico, lo que permitió conocer su desempeño bajo condiciones de carga. Los ensayos proporcionaron información clave sobre su comportamiento estructural, revelando que en términos de capacidad para soportar esfuerzos mecánicos, la madera plástica no alcanzó los niveles de resistencia esperados.

Se evaluó la resistencia de la madera natural mediante pruebas de esfuerzo mecánico, y los resultados evidenciaron que este material tiene un buen comportamiento cuando es sometido a esfuerzos como la compresión simple y la flexión.

Se analizaron los resultados de las pruebas mecánicas y costos en donde se puede concluir que, aunque la madera plástica tiene ciertas ventajas en términos de durabilidad y resistencia a factores ambientales, la madera natural resulta ser más económica y presenta un rendimiento superior en términos de resistencia estructural. En proyectos mineros a gran escala, donde los costos de materiales son fundamentales, la madera natural se muestra como la opción más viable para los sistemas de ademes. La elección final del material dependerá de las condiciones geotécnicas del proyecto, las necesidades de carga y los recursos económicos disponibles.

## 7. RECOMENDACIONES

Dado que la madera natural demostró ser más resistente y económica en comparación con la madera plástica, se recomienda su uso preferente en la construcción de sistemas de ademes y otros soportes estructurales en minería subterránea. La madera natural, con su mayor resistencia a la flexión y compresión, ofrece una opción más adecuada para soportar las altas cargas y esfuerzos mecánicos a los que se someten las estructuras de sostenimiento en las galerías mineras.

Aunque la madera plástica mostró una menor resistencia estructural, sus propiedades de durabilidad y resistencia a la humedad la convierten en una opción viable para aplicaciones donde las condiciones ambientales extremas sean un factor crítico, como en áreas con alta humedad o exposición a productos químicos. Se recomienda su consideración en aplicaciones específicas que no requieran una gran resistencia a esfuerzos mecánicos intensos.

A partir de los resultados obtenidos, sería útil explorar la posibilidad de mejorar las características mecánicas de la madera plástica a través de tratamientos o combinaciones con otros materiales. La investigación de nuevos procesos de fabricación o la incorporación de aditivos podrían aumentar su resistencia estructural, haciendo que este material sea una alternativa más competitiva frente a la madera natural en aplicaciones mineras.

Aunque la madera natural es más económica, la madera plástica presenta ventajas en términos de sostenibilidad, especialmente si se considera su durabilidad frente a condiciones adversas. Se recomienda que las decisiones sobre el uso de estos materiales en proyectos mineros no solo se basen en los costos iniciales, sino también en su desempeño a largo plazo, su impacto ambiental y el ciclo de vida de cada material.

Se sugiere realizar investigaciones adicionales que examinen el comportamiento de la madera natural y la madera plástica bajo condiciones de carga cíclica o fluctuante, que son comunes en entornos mineros. Estos estudios podrían proporcionar una visión más completa del desempeño de ambos materiales a lo largo del tiempo, especialmente en situaciones donde las cargas varían de forma continua.

Si bien esta investigación se centró en la comparación de la madera natural y la madera plástica, sería beneficioso ampliar el análisis a otros materiales utilizados en sistemas de sostenimiento, como los metales o los materiales compuestos. Esta comparación permitiría evaluar más opciones para su implementación en proyectos mineros, considerando tanto el desempeño estructural como la sostenibilidad y el costo.

## Bibliografía

- Agencia Nacional de Minería, Decreto 1886 de 2015.  
[https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto\\_1886\\_de\\_2015.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_1886_de_2015.pdf)
- Arias, O., & Fidas. (2012). *El proyecto de investigación 6a edición*.
- Azuero, A. (2018). *Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de Investigación*.  
<https://orcid.org/0000-0003-2176-597X>
- Barros, S., Ceballos, V., & Arroba, V. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, págs. 58-69.
- Biron, C. (1987). *Diseño de Ademes en minas*. Editorial Limusa, S. A.
- Bolívar, L. R., Neyl, T. J., & Mauricio, G. J. (enero-junio de 2015). Estudio técnico-ambiental de las estructuras principales de fortificación usadas en la minería de carbón de Norte de Santander. *facultad de Ingeniería Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, págs. 107-116.
- Canese de Estigarribia; M. I. (2015). págs. 153-163.
- Carmona, U., Cardona, H., & Restrepo, I. (18 de Abril de 2017). Gestión ambiental, sostenibilidad y competitividad minera. Contextualización de la situación y retos de un enfoque a través del análisis del ciclo de vida. *Universidad Nacional de Colombia*, págs. 50-58.
- Cruz, J., Alonso, S., & Zitzumbo, R. (Julio-Octubre de 2015). Desarrollo de una alternativa ecológica para la fabricación de. págs. 98-107.
- Fuentes, K., Vanegas, A., & Torres, K. (2021). COMPARACIÓN DEL ACV DE 2 ESTIBAS CONSTRUIDAS CON MADERA NATURAL Y MADERA PLÁSTICA EN SIMAPRO 8.4.0. *Revista Politecnica*, págs. 9-29.
- García-Velasquez, Moreno, A., MG, PalomarToscano, García, S., OJ, . . . PL. (2019). Reciclado de plásticos de tapas de botellas y defensas automotrices reforzadas en fibra de vidrio para fabricar alcantarillas domésticas. *Investigación y ciencia*.
- Gobierno de Colombia. (Abril de 2018). Guía de seguridad para sostenimiento de minas Subterráneas.
- GOV.CO. (2016). *Agencia Nacional de Minería decreto 1886 de 2015*.  
<https://www.anm.gov.co/content/decreto-1886-de-2015minminas>
- GOV.CO. (s.f.). *Agencia Nacional de Minería*. Decreto 035 de 1994:  
<https://www.anm.gov.co/content/decreto-035-de-1994>
- GOV.CO. (s.f.). *Función Pública*. Obtenido de Decreto 1072 de 2015 Sector Trabajo:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

- GOV.CO. (s.f.). *Funcion Publica, Gestor normativo, Ley 685*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9202>
- Hernández, S., Mendoza, P, C., & Torres. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Obtenido de McGraw-Hill.: <https://www-ebooks7-24-com.ezproxy.uniminuto.edu/?il=6443>
- Instron. (2020). *¿En qué consiste un ensayo de compresión?* <https://www.instron.com/es-es/resources/test-types/compression-test>
- Kleeberg, F., & Ramos, J. (2009). Aplicación de las técnicas de muestreo en los negocios y la industria. *Ingeniería Industrial*, págs. 17-18.
- León, B., Jaimes, T., Richard, N., Mogollon, G., & Mauricio, J. (Enero-Junio de 2015). estudio técnico-ambiental de las estructuras principales de fortificación usadas en la minería de carbón de Norte de Santander. *Facultad de Ingeniería, vol 24*, págs. 107-116.
- Minenergía, UPTC. (2019). *Protocolos y guía de procedimientos para el sostenimiento de las labores mineras de carbón*. [https://www.minenergia.gov.co/documents/9604/Prot\\_Sostenimiento\\_Carbon.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/9604/Prot_Sostenimiento_Carbon.pdf)
- Ministerio de minas y energía. (Agosto de 2003). *Glosario Minero ANM*. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- MONGABAY. (14 de julio de 2023). *Colombia: se reduce la deforestación en un 29% en el 2022, pero la cifra sigue siendo "muy inestable"*. [https://es.mongabay.com/2023/07/colombia-se-reduce-la-deforestacion-en-2022-pero-la-cifra-sigue-siendo-muy-inestable/#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20bosques%20en,y%20Estudios%20Ambientales%20\(Ideam\)](https://es.mongabay.com/2023/07/colombia-se-reduce-la-deforestacion-en-2022-pero-la-cifra-sigue-siendo-muy-inestable/#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20bosques%20en,y%20Estudios%20Ambientales%20(Ideam)).
- Neira, M., Giler, L., & Quevedo, J. (2020). *Maquina bio.recilcadora de plastico pet: un emprendimiento viable - caso Azogues*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99364322011>
- Ojeda, J., Mercante, I., & Fajardo, N. (2020). Diseño y ensayo de fibras plasticas recicladas para refuerzo de mortero. *Revista Internacional de Contaminación. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*: . <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53423>
- Padilla, V., Fuentes., & Torres-Cervera. (2021). *Comparación del ACV de 2 estibas construidas con madera natural y madera plastica en Simapro 8. 4. 0*. *Revista Politécnica*: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a1>
- Rodriguez Aparicio, V. B. (3 de Septiembre de 2021). *Analisis ambiental de la mineria de carbón en el ecosistema estategico de paramo (Boyacá, Colombia)*. Pereira, Colombia: Scientia Et Technica.
- Rodriguez Aparicio, V. B. (2021). *Analisis ambiental de la mineria de carbón en el ecosistema estrategico de paramo (Boyacá, Colombia)*. Scientia Et Technica.

Rodriguez, J., & Vergara, P. (03 de Septiembre de 2021). Scientia Et Technica. *Analisis ambiental de la minería de carbón en el ecosistema estratégico de páramo (Boyacá, Colombia)*, págs. 398-405. Analisis ambiental de la mineria de carbon en el ecosistema estrategico de paramo (Boyacá, colombia): <https://doi.org/10.22517/23447214.24519>

Santos, A., Morales, J., Olivas, I., & Aguilar, F. (02 de Diciembre de 2020). Evaluació fisico-quimica de compositos madera-plastico para el diseño de productos. págs. 7-16.

Sarduy, D. (2007). *el análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa*. Revista Cubana de Salud Publica.

Toapanta, R., & R., A. (2023). *Daño ambiental y economia circular en la explotacion de recursos naturales no renovables*. FIGEMPA: Investigacion y desarrollo: <https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4104>