



SIMULACIÓN EN SERVICIOS DE PISOS DE MADERA DE PLANTACIONES DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum*)

Graciela Isabel Egoavil Cueva Gálvez¹, Márcio Pereira da Rocha², Ricardo Jorge Klitzker³, Raquel Marchesan⁴, Milciades Leonidas Miguel Castro⁵, Rodrigo Couto Santos⁶

1. Profesora de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú - gegoavilg@gmail.com
2. Profesor de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná (UFP), Curitiba-Paraná-Brasil.
3. Profesor de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Paraná (UFP), Curitiba-Paraná-Brasil.
4. Profesora de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Federal de Tocantins. Palmas-Tocantins-Brasil
5. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú
6. Profesor de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Federal de Grande Dourados, Dourados - MS - Brasil

Recibido em: 15/11/2023 – Aprobado em: 15/12/2023 – Publicado em: 30/12/2023
DOI: 10.18677/EnciBio_2023D20

RESUMEN

Para que la madera de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) plantada en Perú, se torne una buena opción en el mercado de pisos, es necesario que reúna ciertas características de resistencia mecánica que lo habiliten para tal fin. La densidad y dureza de la madera son los principales indicadores para el buen comportamiento como pisos de madera. Las pruebas de simulación en servicio son una herramienta importante para evaluar la calidad de los pisos de madera y así, de alguna manera anticipar su rendimiento en uso. Por eso, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la madera de capirona de una plantación de 20 años, para la fabricación de pisos de madera maciza, para lo cual, se realizaron pruebas de simulación en servicio (ASTM D2394-08) evaluando la resistencia a los esfuerzos de carga rodante, cargas concentradas en pequeñas áreas, el impacto de caída de la esfera de acero, abrasión y rozamiento. Los resultados determinaron buena resistencia para los esfuerzos máximos en los ensayos de carga rodante, impacto a la caída de la esfera de acero, abrasión y altos coeficientes de rozamiento estático y dinámico y, baja resistencia en el ensayo de cargas concentradas aplicadas en pequeñas áreas. Se concluye que la madera de capirona procedente de plantaciones puede ser utilizada en la fabricación de pisos, por su buen desempeño en la mayoría de los ensayos realizados.

PALABRAS-CLAVE: Pau mulato, depresiones en la madera, propiedades de la madera

SIMULATION IN SERVICES OF WOODEN FLOORS OF CAPIRONA PLANTATIONS (*Calycophyllum spruceanum*)

ABSTRACT

In order for capirona wood (*Calycophyllum spruceanum*) planted in Peru to become a good option in the flooring market, it must meet certain mechanical resistance characteristics that enable it for this purpose. The density and hardness of the wood are the main indicators for good performance as a wooden floor. In-service simulation tests are an important tool to assess the quality of wooden floors and thus, somehow anticipate their performance in use. Therefore, the objective of this work was to evaluate the behavior of capirona wood from a 20-year-old plantation for the manufacture of solid wood floors, for which in-service simulation tests (ASTM D2394-08) were carried out evaluating resistance to the stresses of rolling loads, loads concentrated in small areas, the impact of the fall of the steel sphere, abrasion, and friction. The results determined good resistance for the maximum efforts in the tests of rolling load, impact to the fall of the steel sphere, abrasion and high coefficients of static and dynamic friction and, low resistance in the test of concentrated loads applied in small areas. It is concluded that capirona wood from plantations can be used in the manufacture of floors, due to its good performance in most of the tests carried out.

KEYWORDS: capirona, plantations, simulation of use.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los pisos de madera maciza se producen en varios estilos, colores y cortes, ofreciendo funciones y diseños versátiles a los consumidores. La apariencia y textura única de la madera brindan un atractivo estético al piso, por su naturaleza son muy duraderos, siendo mayor después de la instalación. Por otro lado, requieren poco o ningún mantenimiento de rutina, no atrapan polvo, polen de moho, partículas, entre otras cualidades (MORDOR INTELLIGENCE, 2022).

Para seleccionar las especies a utilizar para la producción de pisos, se deben evaluar las propiedades físicas, mecánicas y atributos estéticos (COSTA *et al.*, 2021) siendo uno de los factores más importantes para escoger maderas para pisos, la densidad del material, maderas más densas son más resistentes para ser usadas en pisos, dado que la densidad se relaciona directamente, con la dureza (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015).

La dureza es una propiedad mecánica clave del rendimiento de los suelos (SEPLIARSKI *et al.*, 2022), ya que es utilizada comúnmente para determinar la idoneidad de una especie de madera para aplicaciones en pisos (MILLANIYAGE *et al.*, 2022). En la actualidad compiten con los pisos de madera de ingeniería, sin embargo, debido a su gran calidad, se pueden obtener mejores acabados frente a los distintos tipos de pisos de madera. En el Perú, las principales especies para la fabricación de pisos son las provenientes de bosques naturales, siendo las más utilizadas por su calidad, shihuahuaco, estoraque, capirona, aguano masha, quina quina, quinilla, entre otras (SERFOR, 2021). Sin embargo, este recurso cada vez es más escaso, dado que son producto de la extracción de bosques nativos.

La capirona, es una especie de rápido crecimiento, con gran potencial, su madera es considerada de gran valor comercial, orientada principalmente al sector construcción que tiene como producto de mayor demanda, los pisos de madera (GUARIGUATA *et al.*, 2017). Debido a su alta masa específica y dureza, es considerada una madera de gran calidad. Presenta un aserrío moderadamente fácil, moderadamente resistente al ataque biológico y buen secado, además, se puede utilizar en ebanistería, puertas, ventanas, molduras, tarugos, construcción naval, estructuras pesadas, machihembrados, carrocerías, tornería, artículos deportivos, mangos de herramientas, artesanía y enseres que tienen contacto con alimentos (SIBILLE, 2006).

Durante los últimos años, su demanda a nivel nacional e internacional se ha incrementado considerablemente, que corresponde a la producción de madera rolliza, madera aserrada y parquet (DÍAZ, 2021). Actualmente se le ubica en tercer lugar de producción de parquet y tablillas para pisos (SERFOR, 2021).

Por otro lado, el país cuenta con grandes extensiones de tierras deforestadas, que no han sido puestas en valor, actualmente, se tiene una deforestación acumulada entre 2001 a 2021 de 2 774 562 ha (MINAM, 2022), una parte de ellas, podrían ser aprovechadas en plantaciones comerciales con fines industriales. La producción de productos en planta de primera transformación, entre ellos, los pisos de madera, provenientes de la Amazonía, han ido decreciendo, ello implica que, de mantenerse el consumo actual, el mercado recurrirá a mayores productos importados o uso de productos sustitutos como plástico, cerámicos y metal entre otros, perdiendo posicionamiento en el mercado (LA CÁMARA, 2022). Sobre todo, si desde una perspectiva mundial de mercado, los suelos de madera son considerados las principales áreas económicas (SEPLIARSKY *et al.* 2022)

Por lo que, considerando el potencial de la capirona proveniente de plantaciones forestales, como especie de gran importancia para la elaboración de diferentes productos, entre ellos, los pisos de madera maciza, la presente investigación fue realizada para evaluar el comportamiento en servicio de pisos de esta especie, así como recomendar su adecuada utilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en árboles de una plantación experimental de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) de 20 años proveniente del distrito de Curimaná, Región Ucayali-Perú, a 8°24'15.11" de latitud sur y 75°7'14.66" de longitud oeste. La zona tiene un clima tropical (Af según Köppen-Geiger), con una temperatura promedio de 26,3°C, una altitud de 184 metros sobre el nivel del mar y una precipitación anual promedio de 2672 mm (fuente: CLIMATE-DATA-ORG). Fueron tumbados aleatoriamente seis árboles con fuste recto y buen estado fitosanitario, con altura promedio comercial de 8,9 m, obteniéndose por árbol, cuatro trozas. Las primeras trozas a partir de la base hasta el DAP fueron despuntadas a una longitud de 1300 mm y las tres trozas restantes a una longitud de 1800 mm, las cuales fueron aserradas tangencialmente: la primera troza a tablas de 25 mm de espesor y un bloque central de 100 mm de espesor y los tres restantes a tablas de 25 mm de espesor.

Masa específica básica y dureza Janka

Los bloques centrales de las primeras trozas fueron reaserradas en piezas menores y acondicionadas en cámara climatizada hasta que alcanzaron condiciones de humedad de equilibrio de aproximadamente 12%, a partir de esta madera estabilizada se prepararon las probetas de prueba para determinar el ensayo de masa específica básica y dureza Janka, siguiendo la norma D143 – 94 (ASTM, 2000). Métodos de prueba estándar para pequeños especímenes claros de madera.

Ensayo de simulación de pisos en servicio

A partir de las tablas secas, según el manual “Fabricación de muebles con maderas poco conocidas LKS - Guía de Procesamiento Industrial 2006 para madera de capirona (SIBILLE, 2006); se prepararon las probetas para los ensayos de simulación de pisos en servicio, luego fueron acondicionadas hasta contenido de humedad de equilibrio de 12%. Estos ensayos se realizaron, según la norma D-2394-05 (ASTM, 2008) con adaptaciones. Debido a que la capirona no presentó albura diferenciada, las probetas se agruparon en dos posiciones: Madera cerca de la médula (CMe) y madera cerca de la corteza (CCo), que correspondieron al duramen y albura, respectivamente (Tabla 1).

TABLA 1. Especificaciones de los ensayos de simulación de pisos en la madera de capirona

Posición	N° de repeticiones / ensayo				
	Carga Rodante	Carga concentrada en pequeñas áreas	Impacto de caída de esfera de acero	Abrasión	Fricción
Dimensiones de las probetas de madera	240 x 115 x 20 (mm)	240 x 115 x 15 (mm)	240 x 140 x 20 (mm)	95 x 95 x 10 (mm)	240 x 140 x 20 (mm)
CMe	30	45	72	27	35
CCo	30	45	72	27	35
Total	60	90	144	54	70

Ensayo de carga rodante

El equipo utilizado consiste en una mesa de fierro 1700 x 550 mm (largo x ancho), en ella son colocadas las probetas en un ángulo de 45° entre el eje axial de las fibras y la dirección de desplazamiento de la carga. El equipo provisto de dos ruedas laterales y una rueda central se mueve entre dos carriles. La rueda central es la que trasmite a la madera, una carga de 890N, movida por un motor eléctrico que lo desliza sobre la superficie a una velocidad de 0,06 m.s⁻¹ durante 10, 25 y 50 viajes, ocasionando una depresión continua de las piezas que es medida por medio del reloj comparador con precisión de 0,001 mm (Figura. 1A).

Ensayo de carga concentrada en pequeñas áreas

El equipo utilizado consiste en una mesa de fierro de 1430 x 240 mm (largo x ancho), provisto de un rodillo móvil de 150 x 235 mm que contiene 225 dientes de

formato cilíndrico con 5 mm de diámetro, que ejerce una carga distribuida de 890 N, movida por un motor eléctrico que se desliza sobre la superficie a una velocidad de $0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, el que se desplaza sobre las probetas durante 50 y 100 viajes ocasionando una depresión continua de las piezas que es medida por medio del reloj comparador con precisión de 0,001 mm (Figura. 1B).

Ensayo de impacto de caída de la esfera de acero

El equipo está constituido por una torre de acero inoxidable dividida en 12 alturas distanciadas en 150 mm (150 mm hasta 1800 mm) y dos columnas centrales donde se ubica una plataforma móvil que posee un electroimán que suelta verticalmente una unidad de impacto constituida por una esfera de acero de 51 mm de diámetro y 535 g de masa. Se coloca una hoja de papel carbón para visualizar el área de impacto facilitando la medición de la depresión causada por la esfera. La profundidad de la depresión fue obtenida con la ayuda de un reloj comparador con precisión de 0,001 mm (Figura 1C).

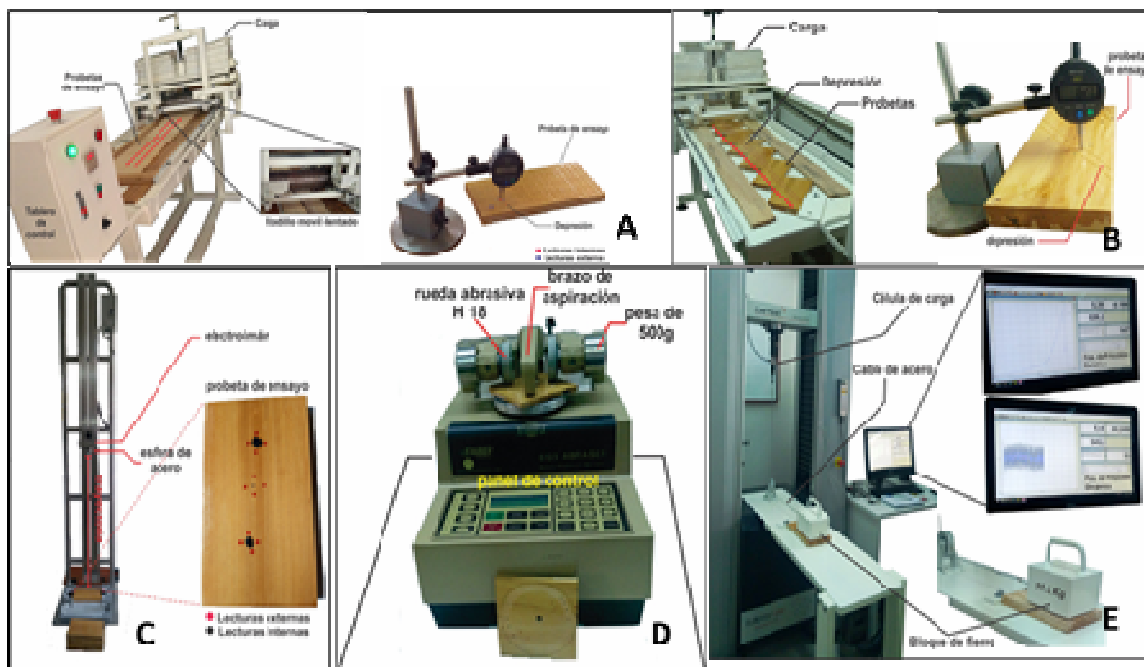
Ensayo de abrasión

Este ensayo simula la fricción de elementos abrasivos sobre la superficie de madera. El ensayo fue realizado en el Taber Abraser modelo 5135, compuesto por brazos de sustentación con roldanas abrasivas del tipo H-18, un brazo de aspiración de partículas, con cargas de 500 g por brazo y una frecuencia de rotación de $72 \text{ ciclos}\cdot\text{min}^{-1}$, sometidos a 500 ciclos de abrasión y una plataforma de sustentación para la muestra. Al finalizar el ensayo se midieron ocho puntos en el área que sufrió la abrasión y ocho puntos en la superficie original de la probeta, con la ayuda del reloj comparador (0,001 mm). En cada lectura interna la hendidura fue asociada a su respectiva lectura externa, el valor de la depresión fue calculado como la diferencia de los promedios aritméticos de las lecturas externas e internas, siguiendo la metodología de MARTINS *et al.* (2013), (Figura. 1D).

Ensayo de rozamiento estático y dinámico

El ensayo simula la facilidad o dificultad en deslizar la suela de zapato sobre el piso de madera y fue realizado a partir de un bloque de hierro con cara rectangular y masa de 11,5 kg revestido en su cara inferior por un pedazo de cuero de suela de zapato de 102 mm x 114 mm. El bloque está unido mediante un cable de acero a la máquina universal de ensayos y todo el conjunto conectado a un computador para el registro de las fuerzas. La fuerza necesaria para dar movimiento al bloque de hierro sobre la probeta a una velocidad de $1,7 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (rozamiento estático) y una fuerza media para mantener el bloque de hierro en movimiento a una velocidad de $51 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (rozamiento dinámico). El coeficiente de rozamiento estático se determinó dividiendo la fuerza máxima entre la masa del paralelepípedo y el coeficiente de rozamiento dinámico, se determinó dividiendo la fuerza media entre la masa del paralelepípedo. (Figura. 1E).

FIGURA 1. Equipos utilizados en el ensayo de carga rodante (A), cargas concentradas en pequeñas áreas (B), impacto de caída de esfera de acero (C), Abrasión (D) y fricción (E).



Análisis estadístico

En todas las pruebas se aplicaron las estadísticas básicas descriptivas. Para el ensayo de depresión causada en la probeta por la caída de esfera de acero, se utilizó el análisis de regresión y el coeficiente de correlación de Pearson (r), siendo el modelo de regresión lineal el que obtuvo mayor R^2 . Análisis de varianza (ANOVA) para todas las pruebas, mediante el modelo lineal general y diseño Completo al Azar (DCA), en tres y dos tratamientos. Todos los datos fueron comparados utilizando Tukey a 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Masa específica básica y Dureza Janka

La masa específica básica, presentó un valor alto, clasificada en el grupo IV ($0,61 - 0,75 \text{ g.cm}^{-3}$) que la define como madera con masa específica alta (ARÓSTEGUI *et al.*, 1980), característica de gran importancia para usos estructurales, recubrimientos de exteriores, pisos y parquet. Asimismo, presentó valores muy altos de resistencia a la dureza Janka, según la clasificación de las propiedades mecánicas propuesta por Dávalos y Bárcenas (1999). Estas propiedades de la madera son muy importantes, porque van a influir directamente en la calidad de la materia prima para ser usada en la fabricación de pisos de madera (BLANCO *et al.*, 2015). La masa específica básica es utilizada como parámetro de calidad de maderas por estar correlacionada con diversas características y propiedades de uso común. Al respecto, Marchesan *et al.* (2020) al

estudiar la *Hovenia dulcis*, observó una fuerte correlación entre la densidad básica y la dureza Janka, es decir, a mayor densidad básica de la madera, mayor es su dureza. La dureza de una especie maderable es una medida clave para su aplicación comercial, como su uso en suelos o muebles, especialmente para la ingeniería civil (PENG *et al.*, 2016).

TABLA 2. Valores promedio de la Masa específica básica y dureza Janka de la madera de capirona en ambas posiciones.

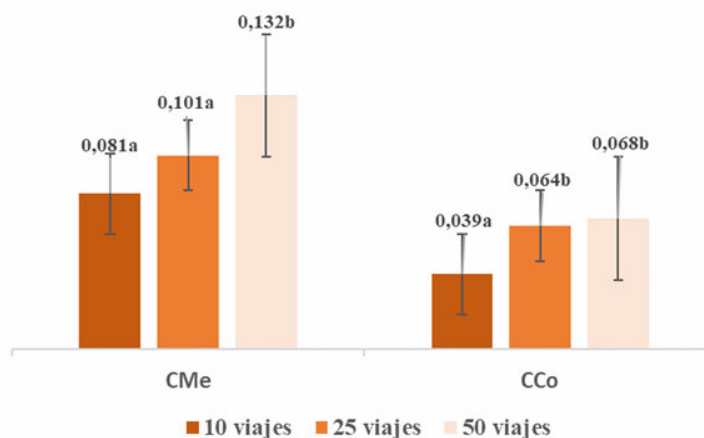
Probetas de madera	Masa específica básica (g/cm ³)	Dureza Janka (N)
CMe	0,673 a (6,18)	9.093,0 a (13,14)
CCo	0,716 b (2,69)	10.882,0 b (8,15)
Promedio general	0,69	9.988,0

Leyenda: Las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey; el valor entre paréntesis indica el coeficiente de variación.

Carga rodante

En la FIGURA 2, se observa que los valores medios de la madera en ambas posiciones se van incrementando significativamente conforme aumenta el número de viajes en el tiempo. En la madera (CMe), el incremento del viaje 10 a 25 no fue significativo, pero si del viaje 25 a 50; en la madera (CCo) se incrementó significativamente hasta el viaje 25. Asimismo, se puede observar que el mayor valor de depresión lo presenta la madera (CMe).

FIGURA 2. Valores medios de depresión por número de viajes en carga rodante, en sus dos posiciones.



Leyenda. Las medias seguidas por la misma letra dentro de un mismo bloque no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey

Se puede apreciar un incremento significativo en los valores medios de la madera en ambas posiciones a medida que el número de viajes aumenta con el tiempo. En el caso de la madera CMe, se observa un aumento significativo entre los viajes 25 y 50, mientras que en la madera CCo, el incremento es significativo hasta el viaje 25. Además, destaca que la madera CMe presenta el valor más alto de depresión. La misma tendencia encuentra Marchesan *et al.* (2020) en la *Hovenia dulcis*, al aumentar el número de viajes.

Este aumento progresivo en la depresión de las maderas CCo y CMe conforme aumenta el número de viajes de carga sobre ellas se debe a la estructura de las fibras fusiformes aplanadas en la madera. Estas fibras son susceptibles a deformaciones y aplastamiento en dirección normal a ellas a medida que la carga aumenta. Este proceso avanza desde la superficie hacia el interior de la madera, lo que resulta en un desgaste superficial debido a la reducción de las cavidades de la madera (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015). Así, es evidente que la depresión en la madera de capirona aumenta significativamente con el incremento en el número de viajes de carga.

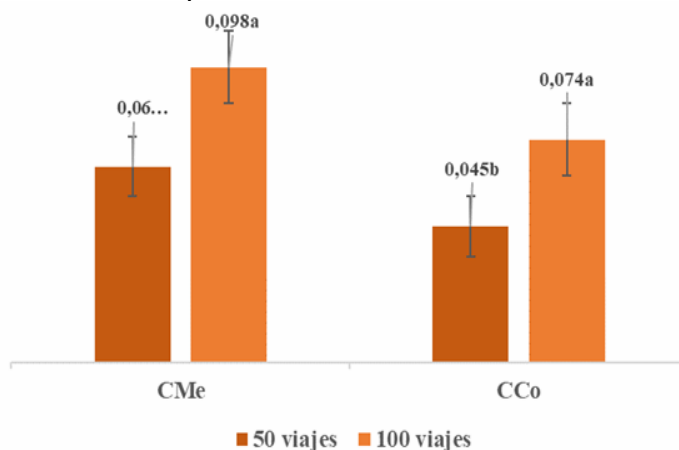
Además, se observa que la madera CCo presenta los valores más bajos de depresión, con un 57,4 % con relación a los viajes 10, 25 y 50, en comparación con el 61,4 % en la madera CMe. Esta tendencia en ambas posiciones es coherente con los valores específicos más altos de masa básica y dureza, indicando un mejor rendimiento que se traduce en depresiones menores, especialmente evidenciado en la madera CCo.

Al comparar con investigaciones similares sobre simulación de pisos en servicio, y considerando un valor de referencia promedio para 50 viajes (0,10 mm y $0,673 \text{ g.cm}^{-3}$ de masa específica básica), se encontraron rangos de valores entre 0,128 mm y 0,190 mm para maderas de *Eucalyptus* con edades entre 22 y 32 años y una masa específica básica de 0,740 a $0,805 \text{ g.cm}^{-3}$ (MARTINS *et al.*, 2013). Este mejor rendimiento de la capirona en resistir cargas rodantes que se desplazan sobre su superficie, a pesar de su menor edad y masa específica básica, posiblemente se deba a factores genéticos, climáticos o altitudinales. En investigaciones de Oliveira *et al.* (2019) sobre especies de *ipê* y *cumarú*, comunes en pisos de madera, se registraron depresiones medias de 0,105 mm y 0,110 mm respectivamente, valores similares a los de la capirona. De acuerdo con la clasificación propuesta por este mismo autor, la capirona cae en el rango de alta calidad, que la posiciona como una elección adecuada para ambientes donde se espera el arrastre frecuente de objetos pesados, ya sea en entornos empresariales, comerciales o residenciales. De esta manera, la capirona compete exitosamente con especies muy empleadas en Brasil para la fabricación de pisos.

Cargas concentradas en pequeñas áreas

En la Figura 3, se observa que en ambas posiciones los valores experimentan un incremento significativo a medida que aumenta el número de viajes a lo largo del tiempo. Asimismo, las maderas (CMe) presentan los valores más altos de depresión en respuesta a la aplicación de cargas concentradas en pequeñas áreas, lo cual guarda una relación directa con los valores medios de masa específica básica y dureza Janka de la Tabla 2.

FIGURA 3. Valores medios de depresión por número de viajes en carga concentrada en pequeñas áreas, en sus dos posiciones



Leyenda. Las medias seguidas por la misma letra dentro de un mismo bloque no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey.

La superficie de los pisos de madera a menudo sufre daños ocasionados por objetos puntiagudos, tales como zapatos stiletto femeninos, clavos sobresalientes y similares, que aplasta las fibras de la madera, resultando en hendiduras o depresiones en la superficie, debido a regiones microscópicas, donde la tensión localizada es mayor que la tensión promedio que actúa en toda la sección (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015). La dureza, la cual es influenciada por la masa específica básica, resulta ser un indicativo útil para anticipar la capacidad de una madera de resistir la penetración de objetos como clavos, golpes y abolladuras (KHADEMIBAMI *et al.*, 2022).

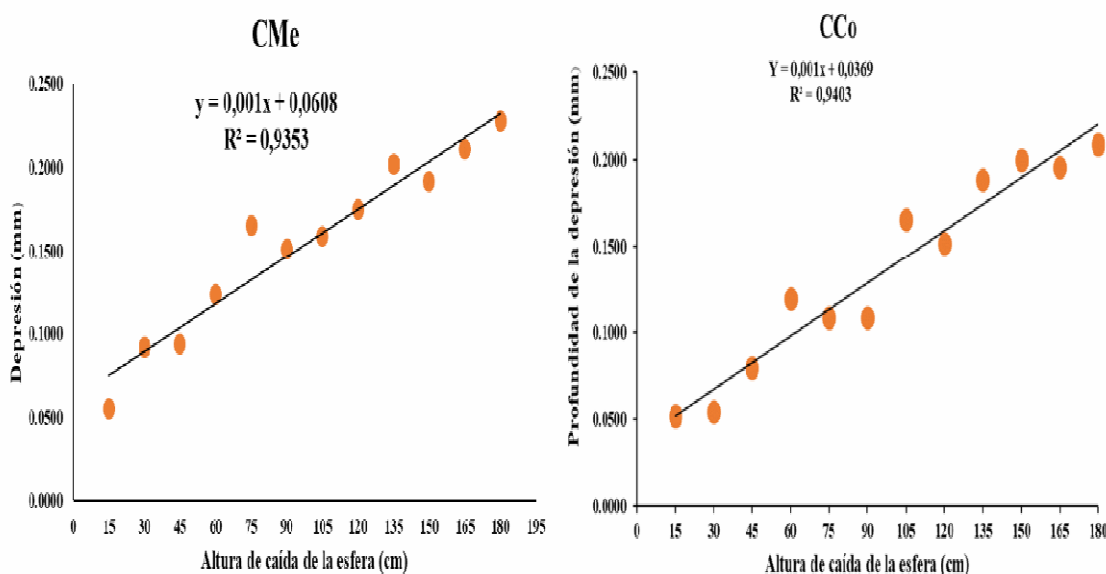
Al respecto, como en el ensayo de carga rodante, también se observa que la madera CCo logra los valores más bajos de depresión, lo cual indica un mejor rendimiento. Esta tendencia se puede atribuir a los valores más elevados de masa específica básica y dureza Janka en esta posición de la madera. Estudios anatómicos realizados en la especie investigada revelan que la longitud de la fibra y el espesor de la pared aumentan en dirección hacia la corteza (GÁLVEZ *et al.*, 2020), lo cual podría explicar este comportamiento superior en la zona CCo.

Si tomamos como punto de referencia los valores medios de depresión para la capirona, con valores de 0,087 mm para 100 viajes, y los comparamos con investigaciones similares, encontramos que presentan menor depresión a los registrados por Blanco-Floréz *et al.* (2015) para *Tectona grandis*, cuya depresión promedio es de 0,100 mm. Barbosa *et al.* (2014), en su estudio de pisos con listones laminados de bambú y paneles de madera de pino, encontraron valores promedio de 0,088 mm, similares a los de la capirona. Por otro lado, en la investigación de Oliveira *et al.* (2019) se registraron valores medios de depresión de 0,016 mm y 0,024 mm en los pisos de *sucupira* y *améndola*, respectivamente, valores menores de depresión a los obtenidos en este estudio. Al respecto, según la clasificación cualitativa establecida por la norma D-2394-05 (ASTM, 2008), los pisos de capirona se clasificarían dentro de la escala de daño moderado (J). Por tanto, para este ensayo, los pisos de madera de capirona podrían emplearse en ambientes no expuestos a objetos puntiagudos.

Ensayo de impacto de caída de esfera de acero

En la Figura 4 se muestra la relación entre la depresión ocasionada por el impacto de la esfera de acero y la altura desde la cual se realiza la caída. Se observa que a medida que la altura de la caída de la esfera aumenta, la depresión resultante en las maderas (CMe) y (CCo) también aumentan, evidenciando incrementos con una tendencia lineal positiva.

FIGURA 4. Profundidad de la depresión en función de las alturas de caída en ambas posiciones, en el ensayo de caída de esfera de acero.



La manera en que el piso de madera responde a las cargas de impacto está determinada por la interacción de diversas propiedades inherentes a la madera, tales como su flexibilidad, dureza y resiliencia (GONZÁLES-TREJOS, 2012). Además, se considera que una pieza de madera es tenaz cuando puede resistir significativas deformaciones bajo flexión o torsión antes de fracturarse (WELLING; MILITZ, 2020). Esta cualidad se traduce en una alta capacidad para absorber la energía proveniente de impactos. Cuando la bola de acero se deja caer sobre la superficie de madera, esta energía de impacto es absorbida en forma de deformación, incrementándose a medida que aumenta la distancia desde la cual se libera la bola (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015)

En la Tabla 4, se presentan los valores medios de depresión causadas por el impacto de la esfera de acero. Es importante notar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significancia del 5%. Esto sugiere que, para este ensayo, las respuestas en ambas composiciones son equivalentes.

TABLA 4. Valores medios de profundidad de la depresión a 180 cm de altura de caída en ambas posiciones, en el ensayo de caída de esfera de acero

Probetas de Madera	Medida de depresión (mm)	CV (%)
CMe	0,23 a	10,33
CCo	0,21 a	12,85
Media general	0,22	

Leyenda: CV = Coeficiente de variación; las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey

Se observa el valor promedio de depresión de 0,22 mm, el cual fue superior a los resultados de estudios en *Tectona grandis* (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015), que registraron valores de depresión de 0,5 mm y de Padilha *et al.* (2006) que obtuvieron valores promedio de 0,468 mm en la madera de *Eucalyptus*. Los investigadores justificaron estos valores elevados de depresión debido a la edad de las especies, que varió entre 8 y 13 años. En concordancia, Martins *et al.* (2012) reportaron valores medios de 0,21 a 0,27 mm de depresión para *Corymbia maculata* y *Eucalyptus*, cifras similares a las obtenidas en esta investigación.

Por otro lado, al comparar con un estudio sobre pisos de madera maciza tropical (COSTA *et al.*, 2021), se observaron valores medios de depresión de 0,195 mm para cumarú y 0,184 mm para ipê, cifras superiores a las obtenidas en este estudio. Esto puede explicarse por la mayor masa básica específica y la mayor edad de dichas especies, como se indica en la investigación. En base a los resultados obtenidos y siguiendo la clasificación propuesta por Oliveira *et al.* (2019), es posible clasificar a la madera de capirona como de alta calidad en términos de resistencia al impacto de la esfera de acero, presentando características similares a muchas especies empleadas en la industria de pisos en Brasil.

Ensayo de abrasión

En la Tabla 5, se presentan los valores medios de la profundidad de la depresión resultante de 500 ciclos de abrasión en las muestras de madera de capirona, analizadas en ambas posiciones. Se destaca que las probetas de la posición CCo mostraron una respuesta ligeramente mejor ante el efecto abrasivo, con una reducción del 16,6% en la profundidad de depresión. A pesar de este resultado, las diferencias en los valores no alcanzaron significancia estadística.

TABLA 5. Valores medios de la profundidad de la depresión en la madera de capirona como resultado del ensayo de abrasión, para ambas posiciones

Probetas de madera	Medida de depresión (mm)	CV (%)
CMe	0,060 a	34,53
CCo	0,050a	35,97
Media general	0,050	

Leyenda: CV = Coeficiente de variación; las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey

La resistencia a la abrasión se refiere a la capacidad de la madera para resistir el desgaste provocado por el uso, incluyendo el tránsito peatonal intenso y la presión

ejercida por diversos objetos como muebles y maquinaria, entre otros; este aspecto es crucial para determinar la vida útil de la madera en el tiempo y se cuantifica mediante la reducción del espesor resultante debido a la abrasión. (BLANCO-FLOREZ *et al.*, 2015).

En los pisos de capirona, se encontró un valor promedio de desgaste superficial de 0,050 mm, lo cual resultó ser menor que los valores encontrados por MARTINS *et al.* (2013) en *C. maculata* y *E. microcorys*, con depresiones promedio de 0,076 y 0,073 mm, respectivamente y similar al desgaste medido en *E. cloeziana* (0,055 mm). Otros estudios también han evaluado pisos de madera sólida de especies tropicales con densidad básica mayores, como el realizado por Costa *et al.* (2021), quienes obtuvieron valores promedio de depresión en cinco especies tropicales, en el rango de 0,1 mm a 0,2 mm; similares resultados obtuvieron Berndsen *et al.* (2014) quienes llevaron a cabo pruebas de abrasión en bambú mossó (*Phyllostachys pubescens*) para pisos sólidos, determinando que densidades más altas no siempre se traducen en una mayor resistencia al desgaste. En otro estudio, Barbosa *et al.* (2014) evaluaron pisos compuestos por láminas de bambú y Edge glued panels (EPG) hechos de madera de pinus, obteniendo una depresión de 0,08 mm.

En términos generales, la capirona, a pesar de tener una densidad básica menor, muestra ciertas ventajas sobre las especies investigadas por Berndsen *et al.* (2014), y Costa *et al.* (2021). Estas ventajas se manifiestan en su alta resistencia al desgaste y su capacidad para soportar esfuerzos de abrasión, lo que la convierte en una opción favorable para la fabricación de pisos destinados a soportar un alto tráfico peatonal.

Ensayo de fricción

En la Tabla 6 se muestran los valores promedio tanto del coeficiente estático como del coeficiente dinámico para ambas posiciones. Se destaca que la posición CMe arroja el valor más bajo, aunque no se evidencian diferencias significativas. Es importante señalar que la madera en ambas posiciones garantiza una mayor seguridad en el deslizamiento, ya que presenta el coeficiente de fricción dinámico más reducido. Esto se traduce en una menor fuerza requerida para mantener el movimiento, tal como se menciona en el estudio de Blanco-Floréz *et al.* (2015).

TABLA 6. Valores medios de los coeficientes de fricción estático y dinámico correspondientes a la madera de capirona, en ambas posiciones

Probetas de madera	Coeficiente de fricción	
	Estático	Dinámico
CMe	0,39 a (20,8)	0,23 a (15,61)
CCo	0,46 a (15,71)	0,26 a (13,0)
Media general	0,43	0,25

Leyenda: Las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna, no difieren estadísticamente a nivel de 5% de probabilidad por el test de Tukey; el valor entre paréntesis indica el coeficiente de variación.

La fricción se define como la fuerza que se opone al movimiento relativo entre dos objetos en contacto y está intrínsecamente ligada a la carga aplicada. En los pisos de madera, la fuerza de fricción representa la resistencia al desplazamiento entre la superficie del suelo de madera y las suelas de los zapatos. En este sentido, el coeficiente de fricción estático indica la máxima fuerza requerida para vencer la inercia del movimiento inicial, mientras que el coeficiente de fricción dinámico denota la máxima fuerza que obstaculiza el continuo desplazamiento (BLAU, 2019). Estos coeficientes de rozamiento desempeñan un papel crucial al elegir las especies de madera adecuadas para la fabricación de pisos, considerando su uso y el nivel de tránsito al que estarán expuestos. Así, se asegura que los pisos de madera ofrezcan una superficie segura y exenta de resbalones (COSTA *et al.*, 2019).

La madera de capirona exhibe valores medios de 0,43 y 0,25 para los coeficientes de fricción estático y dinámico, respectivamente. En comparación con investigaciones similares, Blanco-Floréz *et al.*, (2015) obtuvieron para la teca coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,37 y 0,18, respectivamente. En el caso de Padilha *et al.*, (2016), al analizar 7 variedades de *Eucalyptus urophylla*, se registraron coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,376 y 0,230, respectivamente. Al estudiar pisos de madera de cuatro especies, Oliveira *et al.*, (2019) identificaron valores medios de 0,253 a 0,265 y de 0,154 a 0,19 para los coeficientes de fricción estático y dinámico, respectivamente. Por otro lado, Barbosa *et al.*, (2014), al evaluar pisos EGP de bambú y Pinus, determinaron coeficientes de fricción estático y dinámico de 0,31 y 0,24, respectivamente.

Al respecto, en este estudio, los valores encontrados superan los estándares adecuados para la aplicación en pisos en términos de resistencia al deslizamiento. Una mayor magnitud en los coeficientes de fricción resulta en superficies menos propensas a resbalones, lo que resalta la aptitud de la madera de capirona en la fabricación de pisos. Según los criterios que califican la calidad de los pisos de madera, propuestos por Oliveira *et al.* (2019), la capirona cumple con los requisitos para ser clasificada como madera de alta calidad para este ensayo.

CONCLUSIONES

La madera estudiada presenta un masa específica básica y dureza Janka, elevadas, cualidades altamente favorables para la fabricación de pisos de madera maciza.

El ensayo impacto mediante la caída de esfera de acero, abrasión y fricción, no se detectaron diferencias significativas entre las posiciones CMe y CCo de la madera

En los ensayos de carga rodante y carga concentrada en pequeñas áreas, se observaron diferencias significativas entre madera CMe y CCo, siendo la madera CCo la que demostró un rendimiento superior.

En general, considerando los resultados obtenidos en la mayoría de los ensayos de simulación que imitan las condiciones de usos de pisos, como carga rodante, impacto por caída de esfera de acero, abrasión y fricción, la madera de capirona, se mostró como una opción de alta calidad. En consecuencia, se recomienda su empleo en espacios con un tráfico considerable.

REFERENCIAS

ARÓSTEGUI, A.; GONZALES, F.; SATO, A. Propiedades tecnológicas y uso de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. **Revista Forestal del Perú**, v.10, n.1-2, p.1-86, 1980. URL: <https://docplayer.es/18121806-Propiedades-tecnologicas-y-usos-de-la-madera-de-40-especies-del-bosque-nacional-alexander-von-humboldt.html>

BARBOSA, J.C.; SILVA, J.R.M.; ALVARENGA, F.; SOUZA, J.D.; ARAUJO, V.A.; GARCIA, J.N. Simulation Analysis of In-Service Bamboo and Pine EGP Composite Flooring. **Advanced Materials Research**. v. 1025, n.1026, p. 233-240, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/271988827_Simulation_Analysis_of_In-Service_Bamboo_and_Pine_EGP_Composite_Flooring

BERNDSSEN, R.S.; KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C.; NASCIMENTO, E. M.; OSTAPIV, F. Mechanical resistance of mosso bamboo (*Phyllostachys pubescentis*) part 2: axial tensile strength, hardness and wear resistance. **Floresta**, Curitiba, v.44, n.3, p. 505-514, 2014. <https://doi.org/10.5380/RF.V44I3.33311>

BLANCO-FLÓREZ, J.; SILVA, J.R.M; BRAGA, P.P.C.; LIMA, J.T; TRUGILHO, P.F. Simulation in service of young teak wood floors. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p.1048-1060, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150004.0107>

BLAU, P.J. **Friction Science and Technology: From Concepts to Applications**. CRC Press. 2019. 766 p. URL: <https://www.routledge.com/Friction-Science-and-Technology-From-Concepts-to-Applications-Second-Edition/Blau/%20p/book/9780367386665>

COSTA, A.C.S.; Oliveira, A.C.; Pereira, B.L.C.; Silva, J.R.M.; Oliveira, M.B.; Xavier, C.N. Quality of tropical hardwood floors. **Árvore**, v.45, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-908820210000003>

DÁVALOS, S. R.; BÁRCENAS, P.G. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca”. **Madera y Bosque**. v.5, n.1, p. 61-69. 1999. URL: <https://myb.ojs.incol.mx/index.php/myb/article/view/1355/1523>

DÍAZ, R.S. Capirona: Versatilidad y rendimiento económico al voleo. **Attalea**. n.2, p.9, 2021. URL: <http://attalea.iiap.gob.pe/2021/04/02/capirona-versatilidad-y-rendimiento-economico-al-voleo/>

GÁLVEZ, G.I.E.C.; ROCHA, M.P.; KLITZKE, R.J.; MORA, E.G. Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth).Hook. **Ciência da Madeira**, v. 11, n.2, p. 93-106, 2020. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p93-106>

GONZÁLES-TREJOS, G. Pisos de madera. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v.3, n.7, p.59-57, 2012. URL: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/529>

GUARIGUATA, M.R.; ARCE, J; AMMOUR, T. CAPELLA, J.L. **Las plantaciones forestales en Perú. Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro** Documento Ocasional 169. Bogor, Indonesia. CIFOR. p. 40, 2017. URL: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf

KHADEMIBAMI, L.; SHMULSKY, R.; SNOW, S.; SHERRINGTON, A.; MONTAGUE, I.; ROSS, R.J.; WANG, X. Wear resistance an hardnee assessment of five US Hardwoods for bridge decking and truck flooring. **Forest Products Journal**, v.72, n.1, p. 8-13, 2022. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-21-00074>

LA CÁMARA. Revista Digital de la Cámara de Comercio de Lima. **Perú y el mercado internacional de maderas que puede aprovechar**.URL: <https://lacamara.pe/peru-y-el-mercado-internacional-de-maderas-que-puede-aprovechar/>. Consultado: 15 nov 2022.

MARCHESAN, R.; FRANCA, M.C.; LOIOLA, P.L.; ROCHA, M.P.; KLITZKE, R.J.; SILVA, J.R.M. Caracterização da madeira de *Hovenia dulcis* para fabricação de pisos. PBF, Colomvo, v.40, e201901905, p. 1-7, 2020. <https://dx.doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201901905>

MARTINS, M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; GONÇALVES, M. T. T.; FILIPE, A. P. Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus sp* e *Corymbia maculata*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 151-156, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000100018>

MILLANIYAGE, K.; KOTLAREWSKI, N.; WALLIS, L.; TAOUM, A.; NOLAN, G. Janka hardness evaluation of plantation-grown *Eucalyptus nitens* for engineered flooring applications. **Buildings**, v.12, n.11, p. 1862, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12111862>

MINAM (Ministerio del Ambiente). GEOBOSQUES: **Plataforma de monitoreo de bosques: Bosques y pérdida de bosques**.URL: <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>. Consultado: 26 oct. 2022

MORDOR Intelligence. **hardwood flooring market- growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2023 - 2028)**. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hardwood-flooring-market>. Consultado. 15nov 2022

OLIVEIRA, M. B.; SILVA, J. R. M.; HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T. Establishment of quality classes for hardwood floorings by simulated use. **Cerne**, v. 25, n. 1, p. 105-109, 2019. <https://doi.org/10.1590/01047760201925012618>

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Evaluation of the *Eucalyptus urophylla* Wood quality for flooring. **Scientia Forestalis**, n.

71, p. 141-147, 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/296412690_Evaluation_of_the_Eucalyptus_urophylla_wood_quality_for_flooring_utilization

PENG, J.; JIANG, J.; ZHAN, T.; LU, J. Influence of density and equilibrium moisture content on the hardness anisotropy of Woods. **Forest Products Journal**, v. 66, n. 7-8, p.443-452, 2016. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-15-00072>

SEPLIARSKY, F.; ACUÑA, L.; BALMORI, J.A.; MARTINEZ, R.D.; SPAVENTO, E.; KEIL, G.; CASADO, M.; MARTÍN, R.P. Modeling of Falling Ball Impact Test Response on Solid, Veneer, and Traditional Engineered Wood Floorings of Several Hardwoods. **Forests**. v.13, n. 167, p.1, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13020167>

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). **Compendio Estadístico Forestal 2010-2020**. Lima. URL: <http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/929>. Consultado: 18 nov 2022

SIBILLE, M.A.M. **Guía de Procesamiento Industrial**. FichaTécnica: Capirona. Lima: USAID /PROMPEX, 2006. 17 p. URL: <https://es.scribd.com/document/649765487/5-Sibille-2006-capirona>

WELLING, J.; MILITZ, H. **Wood Science and Technology**. Editorial Springer. p.497, 2020.