

Variación anual del contenido de humedad de equilibrio de *Terminalia oblonga* en Tingo María

Annual variation in the equilibrium moisture content of Terminalia oblonga in Tingo María

Pecho-de la Cruz, Robert Gilbert¹; Santos-Flores, Cleide²; Vergara-Palomino, Jorge Luis³; Quispe-Janampa, David Prudencio⁴; Caldas-de la Cruz, Brayan André⁵

Recibido: 17/06/2026

Aceptado: 05/07/2026

Publicado: 31/07/2026

Cita: Pecho-de la Cruz, R. G., Santos-Flores, C., Vergara-Palomino, J. L., Quispe-Janampa, D. P., & Caldas-de la Cruz, B. A. (2026). Variación anual del contenido de humedad de equilibrio de *Terminalia oblonga* en Tingo María. *Space Scientific Journal of Multidisciplinary*, 4(3), 23-40. <https://doi.org/10.63618/omd/ssjm/v4/n3/78>

Resumen

El contenido de humedad de equilibrio (CHE) condiciona la estabilidad dimensional y el desempeño tecnológico de la madera. El estudio determinó su variación anual en madera de *Terminalia oblonga* bajo las condiciones ambientales de Tingo María, considerando tres niveles longitudinales y tres secciones transversales. Se seleccionaron cinco árboles procedentes de Tocache, San Martín, y se prepararon 45 probetas de 2 cm × 2 cm × 10 cm, evaluadas mensualmente en ambiente de laboratorio. El CHE se calculó a partir de la masa en equilibrio con el ambiente y la masa anhidra; los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, análisis de varianza, prueba de Tukey y correlación de Pearson. El promedio anual fue 13,87 %, con valores mensuales entre 12,722 % y 14,783 %. Marzo, febrero y abril presentaron los mayores promedios, mientras que setiembre, noviembre y octubre registraron los menores. La altura y la sección no mostraron efectos independientes significativos, aunque la combinación ápice × interno alcanzó el mayor CHE. El CHE se relacionó positiva y significativamente con la humedad relativa ($r = 0,711$; $p = 0,010$). La variación mensual estuvo asociada principalmente con la humedad relativa, mientras que la posición dentro del fuste tuvo una influencia moderada.

Palabras clave: comportamiento higroscópico; humedad relativa; madera tropical; sorción; variación estacional

Abstract

Equilibrium moisture content (EMC) affects the dimensional stability and technological performance of wood. This study determined its annual variation in *Terminalia oblonga* wood under the environmental conditions of Tingo María, considering three longitudinal levels and three transverse sections. Five trees from Tocache, San Martín, were selected, and 45 specimens measuring 2 cm × 2 cm × 10 cm were prepared and assessed monthly under laboratory conditions. EMC was calculated from the mass at equilibrium with the environment and the oven-dry mass; data were analyzed using descriptive statistics, analysis of variance, Tukey's test, and Pearson correlation. The annual mean was 13.87%, with monthly values ranging from 12.722% to 14.783%. March, February, and April had the highest averages, whereas September, November, and October had the lowest. Stem height and transverse section showed no independent significant effects, although the apex × inner combination reached the highest EMC. EMC was positively and significantly related to relative humidity ($r = 0.711$; $p = 0.010$). Monthly variation was mainly associated with relative humidity, whereas position within the stem had a moderate influence.

Keywords: hygroscopic behavior; relative humidity; tropical wood; sorption; seasonal variation

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; 0000-0002-6675-4441; robert.pecho@unas.edu.pe

² Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; 0000-0001-6810-0604; cleide.santos@unas.edu.pe

³ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; 0000-0003-2240-7138; jorge.vergara@unas.edu.pe

⁴ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; 0000-0003-2439-5556; david.quispe@unas.edu.pe

⁵ Universidad Nacional Agraria de la Selva; Perú, Tingo María; 0000-0001-9433-5861; brayan.caldas@unas.edu.pe

1. Introducción

La madera es un material lignocelulósico higroscópico capaz de intercambiar humedad con el aire circundante mediante procesos de sorción y desorción. Cuando se encuentra protegida del contacto directo con agua líquida, su contenido de humedad depende principalmente de la humedad relativa y la temperatura del ambiente, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio (CHE), estado en el cual no gana ni pierde humedad de manera neta (Forest Products Laboratory, 2021). Este comportamiento es determinante porque las variaciones de humedad dentro del rango higroscópico modifican el volumen de la pared celular y originan cambios dimensionales, como contracción e hinchamiento, que pueden afectar la estabilidad y el desempeño de los productos de madera (Forest Products Laboratory, 2021; Thybring et al., 2022).

Desde el punto de vista tecnológico y productivo, conocer el CHE permite definir contenidos finales de secado más acordes con las condiciones de servicio, reducir defectos posteriores y mejorar la confiabilidad del material en usos estructurales, carpintería, pisos, muebles y otros productos maderables. Asimismo, la literatura muestra que el CHE no depende únicamente de las variables ambientales, sino también de características propias de la madera, como composición química, contenido de extractivos, densidad, porosidad, proporción de albura y duramen, así como de la historia de sorción del material (Jankowska et al., 2017; Niemz et al., 2022; Fredriksson et al., 2023). En consecuencia, el uso de valores generales de CHE puede ser insuficiente cuando se trabaja con especies tropicales o con maderas procedentes de ambientes cálidos y húmedos.

Diversos estudios recientes han mostrado diferencias importantes en el comportamiento higroscópico de maderas tropicales y sudamericanas. Welling et al. (2023), al evaluar 15 especies peruanas de menor uso comercial, reportaron diferencias interespecíficas en las relaciones madera-agua, especialmente a humedades relativas altas, lo que evidencia la necesidad de generar información específica para especies amazónicas. De forma similar, Niemz et al. (2022) encontraron que el CHE de especies africanas varió entre especies y estuvo influenciado por el contenido de extractivos, mientras que Jankowska et al. (2017) demostraron que los extractivos pueden asociarse con menores valores de CHE en maderas tropicales. Por otro lado, Pérez-Peña et al. (2011) reportaron que la variación del CHE puede ser explicada por la temperatura, la humedad relativa y propiedades físicas de la madera, mientras que Esen y Türüdü (2020) evidenciaron que el CHE puede variar mensualmente según las condiciones climáticas, la región geográfica y la especie.

Además de la variación temporal, la literatura señala que las propiedades físicas de la madera pueden diferir dentro del árbol. Tomczak et al. (2021) encontraron variaciones estacionales y radiales en el contenido de humedad de la madera, con mayores valores cerca de la médula y menores hacia la corteza. Asimismo,

Hassan y Tippner (2025) reportaron variaciones verticales y radiales significativas en propiedades físicas de la madera, lo que respalda la necesidad de considerar posiciones dentro del fuste. Para el caso específico de *Terminalia oblonga*, Arévalo Viena (2009) informó variabilidad longitudinal y transversal en propiedades físicas de la madera; sin embargo, no se encontraron estudios recientes que determinen el CHE mensual de esta especie bajo condiciones ambientales de Tingo María, considerando simultáneamente niveles de altura y secciones transversales.

En este contexto, *Terminalia oblonga* (yacushapana) constituye una especie forestal de interés en la Amazonía peruana, reportada como especie comercial en bosques inundables y con antecedentes de evaluación de propiedades físicas por posición dentro del fuste (Baluarte-Vásquez & Álvarez-Gonzales, 2015; Arévalo Viena, 2009). Bajo este enfoque, resulta necesario generar información local y específica que permita comprender la variabilidad del CHE de esta madera en función de los meses del año y de la posición de la muestra dentro del fuste. Por tanto, el objetivo de este artículo fue determinar el contenido de humedad de equilibrio de la madera de *Terminalia oblonga* (yacushapana), durante los meses del año en la zona de Tingo María, considerando tres niveles de altura y tres secciones transversales.

2. Materiales y métodos

2.1. Lugar de ejecución y procedencia del material

La madera utilizada en el estudio provino de árboles de *Terminalia oblonga* (yacushapana) ubicados en la provincia de Tocache, región San Martín, Perú. En esta zona se seleccionaron cinco árboles, los cuales fueron georreferenciados y registrados como fuente del material maderable empleado para la preparación de las probetas. La ubicación espacial de los árboles seleccionados y del área de extracción se presenta en la Figura 1, donde se observa la distribución de los individuos muestreados y su relación con la red vial local.

La evaluación del contenido de humedad de equilibrio se desarrolló en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. En la Figura 1 también se muestra la localización del sitio de evaluación, diferenciando el área de extracción de muestras en Tocache y el área donde se realizaron las mediciones de laboratorio en Tingo María. Esta representación permitió contextualizar geográficamente la procedencia del material biológico y el lugar donde se desarrolló la evaluación experimental.

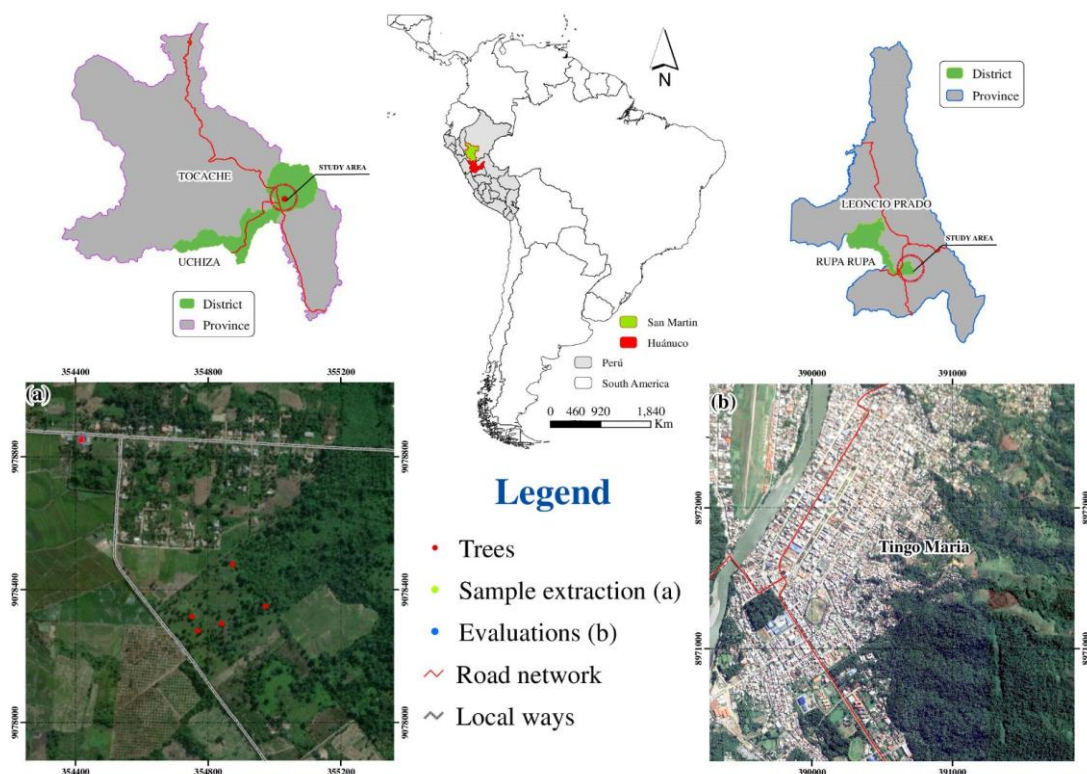


Figura 1. Ubicación geográfica del área de extracción de muestras y del lugar de evaluación de la madera de *Terminalia oblonga* en las regiones San Martín y Huánuco, Perú.

2.2. Material biológico y preparación de probetas

Se empleó madera de *Terminalia oblonga* (yacushapana), obtenida de cinco árboles seleccionados. De cada árbol se extrajeron muestras considerando tres niveles longitudinales del fuste: base, medio y ápice. En cada nivel longitudinal se diferenciaron tres secciones transversales: interna, central y externa. Esta distribución permitió evaluar la variabilidad del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función de la posición dentro del fuste.

A partir del material obtenido se elaboraron probetas de 2 cm × 2 cm × 10 cm, debidamente orientadas e identificadas según árbol, nivel longitudinal y sección transversal. Las probetas fueron acondicionadas evitando exposición directa a fuentes de humedad o calor, con la finalidad de conservar su condición inicial hasta el inicio de las mediciones.

2.3. Diseño de muestreo

El muestreo consideró tres niveles longitudinales del fuste: base, medio y ápice. En cada nivel se obtuvo una sección transversal y se delimitó una franja diametral orientada en sentido Este–Oeste, pasando por la médula. La franja se dividió en seis segmentos simétricos, correspondientes a las zonas externa, central e interna a ambos lados de la médula. Para el análisis, las posiciones simétricas se integraron en tres secciones transversales: externa, central e interna. La combinación de cinco árboles, tres alturas y tres secciones conformó 45 unidades de análisis (Figura 2).

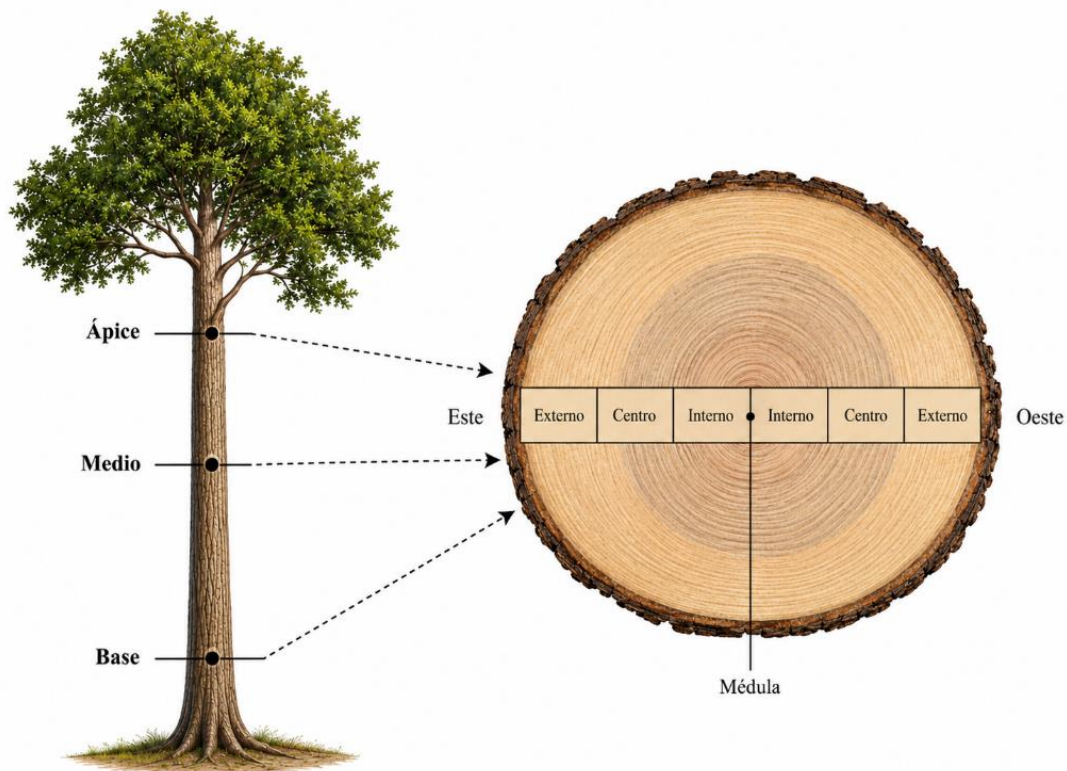


Figura 2. Esquema de obtención de probetas de *Terminalia oblonga* según niveles longitudinales del fuste y secciones transversales de la madera.

2.4. Materiales y equipos

Para la ejecución del estudio se utilizaron probetas de madera de *T. oblonga*, balanza electrónica de precisión, termohigrómetro, estufa eléctrica, desecador con sustancia higroscópica, recipientes de acondicionamiento, etiquetas de identificación, plumón indeleble, libreta de campo y formatos de registro. La balanza se empleó para determinar los pesos sucesivos de las probetas; el termohigrómetro, para registrar la temperatura y humedad relativa del ambiente; la estufa, para obtener el peso seco al horno; y el desecador, para evitar la absorción de humedad ambiental durante el enfriamiento previo al pesaje final.

2.5. Enfoque, tipo y diseño de investigación

El estudio tuvo enfoque cuantitativo, fue de tipo básico y presentó un diseño no experimental, porque las condiciones ambientales no se manipularon artificialmente. La investigación fue longitudinal, descriptivo-comparativa y correlacional: el CHE se evaluó durante 12 meses, se comparó entre niveles longitudinales y secciones transversales, y se relacionó con la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

El arreglo de evaluación incluyó tres niveles longitudinales (base, medio y ápice), tres secciones transversales (interna, central y externa) y cinco árboles como repeticiones biológicas. Las mismas unidades fueron medidas mensualmente.

2.6. Determinación del contenido de humedad de equilibrio

La determinación del CHE se realizó tomando como referencia la Norma Técnica Peruana NTP 251.010:2020 (Instituto Nacional de Calidad, 2020). Las probetas se trasladaron al Laboratorio de Anatomía de la Madera y se mantuvieron expuestas a las condiciones ambientales del laboratorio, sin contacto directo con fuentes de humedad o calor. Se efectuaron pesajes mensuales a una hora similar y, simultáneamente, se registraron la temperatura y la humedad relativa.

Al concluir la evaluación, las probetas se secaron en estufa mediante incremento progresivo de temperatura hasta 103 ± 2 °C y se mantuvieron hasta masa constante. Después se enfriaron aproximadamente 30 minutos en un desecador y se determinó la masa seca al horno.

$$CHE (\%) = [(PSA - PSH) / PSH] \times 100$$

donde CHE es el contenido de humedad de equilibrio (%), PSA es la masa de la probeta en equilibrio con el ambiente (g) y PSH es la masa seca al horno (g).

2.7. Variables de estudio

La variable dependiente fue el contenido de humedad de equilibrio de la madera, expresado en porcentaje. Las variables independientes fueron los meses de evaluación, los niveles longitudinales del fuste y las secciones transversales de la madera.

Los niveles longitudinales correspondieron a base, medio y ápice. Las secciones transversales correspondieron a interna, central y externa. Las variables ambientales registradas fueron la temperatura y la humedad relativa del ambiente, las cuales fueron utilizadas como variables de apoyo para interpretar la variación mensual del contenido de humedad de equilibrio.

2.8. Análisis estadístico

Los datos se organizaron por árbol, nivel longitudinal, sección transversal, mes, masa en equilibrio, masa seca al horno, CHE, temperatura y humedad relativa. Se calcularon media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

El efecto mensual se evaluó como una estructura de mediciones repetidas, considerando la unidad árbol × altura × sección como sujeto. El promedio anual se analizó mediante un arreglo factorial para nivel longitudinal, sección transversal y su interacción. Cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey. La relación del CHE mensual con la temperatura y la humedad relativa se examinó mediante el coeficiente de Pearson utilizando 12 promedios mensuales. En todos los análisis se empleó un nivel de significancia de 5 %.

2.9. Consideraciones éticas

La investigación se realizó con material maderable y no involucró seres humanos ni animales; por ello, no requirió consentimiento informado ni evaluación por un comité de ética.

3. Resultados

3.1. Variación mensual del contenido de humedad de equilibrio

El CHE de la madera de *Terminalia oblonga* varió durante los meses evaluados. El promedio global anual fue 13,87 %, y los promedios mensuales oscilaron entre 12,722 % y 14,783 %. Los mayores valores se registraron en marzo (14,783 %), febrero (14,689 %) y abril (14,639 %); los menores correspondieron a setiembre (12,722 %), noviembre (12,901 %) y octubre (13,054 %) (Tabla 1). El CHE disminuyó progresivamente desde marzo hasta setiembre y se recuperó hacia diciembre y enero (Figura 3).

Tabla 1

Estadísticos descriptivos del contenido de humedad de equilibrio por mes de evaluación.

Mes	n	Media	DE	EE	Mín	Máy
Feb	45	14,689	0,333	0,050	14,249	15,807
Mar	45	14,783	0,335	0,050	14,332	15,904
Abr	45	14,639	0,333	0,050	14,186	15,772
May	45	14,293	0,333	0,050	13,883	15,437
Jun	45	14,101	0,331	0,049	13,728	15,252
Jul	45	13,575	0,329	0,049	13,162	14,744
Ago	45	13,176	0,326	0,049	12,759	14,350
Set	45	12,722	0,325	0,048	12,306	13,876
Oct	45	13,054	0,336	0,050	12,649	14,242
Nov	45	12,901	0,324	0,048	12,477	14,059
Dic	45	14,204	0,341	0,051	13,733	15,373
Ene	45	14,324	0,340	0,051	13,847	15,483

Nota. Media, desviación estándar (DE), error estándar (EE), mínimo y máximo calculados sobre las unidades árbol × altura × sección.

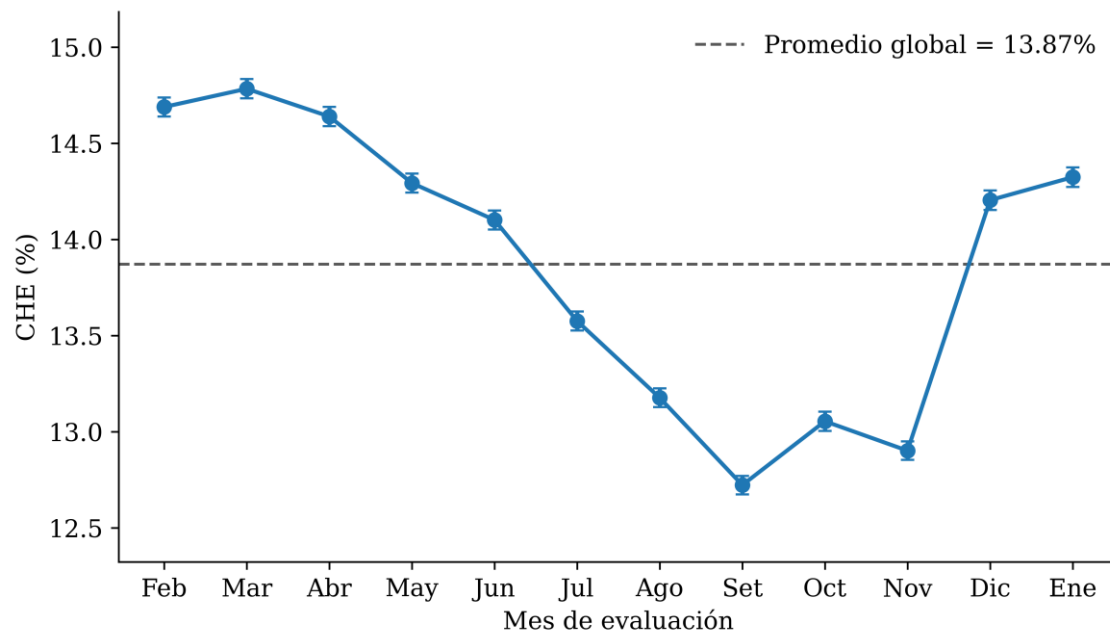


Figura 3. Dinámica mensual del contenido de humedad de equilibrio promedio y línea de referencia del promedio global anual.

3.2. Variación según nivel longitudinal y sección transversal

El ápice presentó el mayor CHE promedio anual (14,001 %), seguido por la base (13,812 %) y el nivel medio (13,803 %); no se detectaron diferencias independientes entre alturas. La amplitud entre el ápice y el nivel medio fue 0,198 puntos porcentuales. Los tres niveles conservaron un patrón mensual semejante, con valores altos entre febrero y abril, descenso hasta setiembre y recuperación hacia diciembre y enero (Tabla 2 y Figura 4).

Tabla 2

Contenido de humedad de equilibrio promedio anual por nivel longitudinal del fuste.

Altura	n	Media	DE	SIG
Base	15	13,812	0,191	a
Medio	15	13,803	0,312	a
Ápice	15	14,001	0,424	a

Nota. El promedio anual correspondió a los 12 meses de evaluación. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas según Tukey ($\alpha = 0,05$).

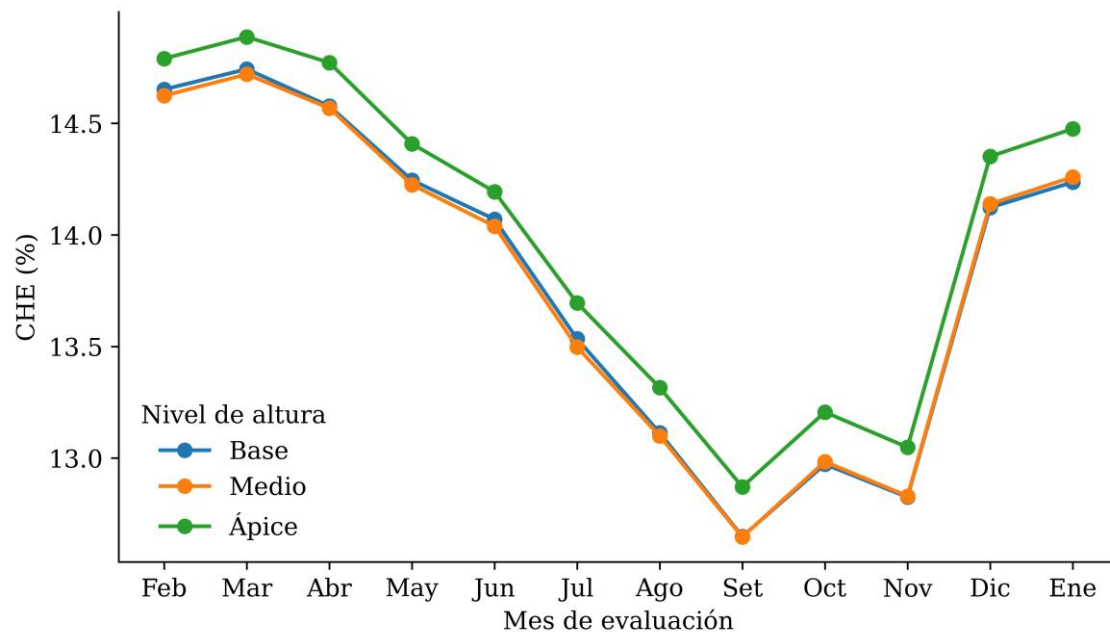


Figura 4. Dinámica mensual del contenido de humedad de equilibrio según nivel longitudinal del fuste.

La sección externa registró el mayor promedio anual (13,938 %), seguida por la interna (13,884 %) y la central (13,793 %); las diferencias independientes entre secciones no fueron significativas. La diferencia entre la sección externa y la central fue 0,145 puntos porcentuales. Las tres secciones mantuvieron tendencias mensuales prácticamente paralelas (Tabla 3 y Figura 5).

Tabla 3

Contenido de humedad de equilibrio promedio anual por sección transversal.

Sección	n	Media	DE	Sig
Interno	15	13,884	0,474	a
Centro	15	13,793	0,153	a
Externo	15	13,938	0,284	a

Nota. El promedio anual correspondió a los 12 meses de evaluación. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas según Tukey ($\alpha = 0,05$).

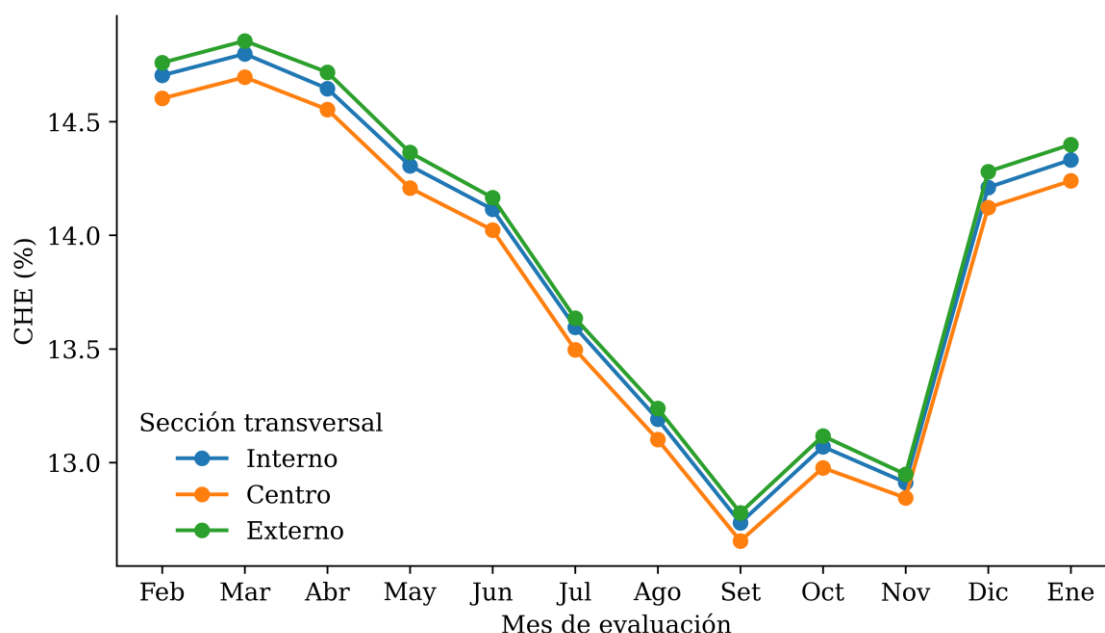


Figura 5. Dinámica mensual del contenido de humedad de equilibrio según sección transversal.

La combinación ápice × interno presentó el mayor CHE promedio anual y se ubicó en el grupo estadístico superior (a), mientras que medio × interno registró el menor valor y conformó el grupo inferior (b). Las demás combinaciones pertenecieron al grupo intermedio (ab), por lo que no se diferenciaron claramente de los extremos. Las diferencias se concentraron entre las combinaciones ápice × interno y medio × interno (Figura 6).

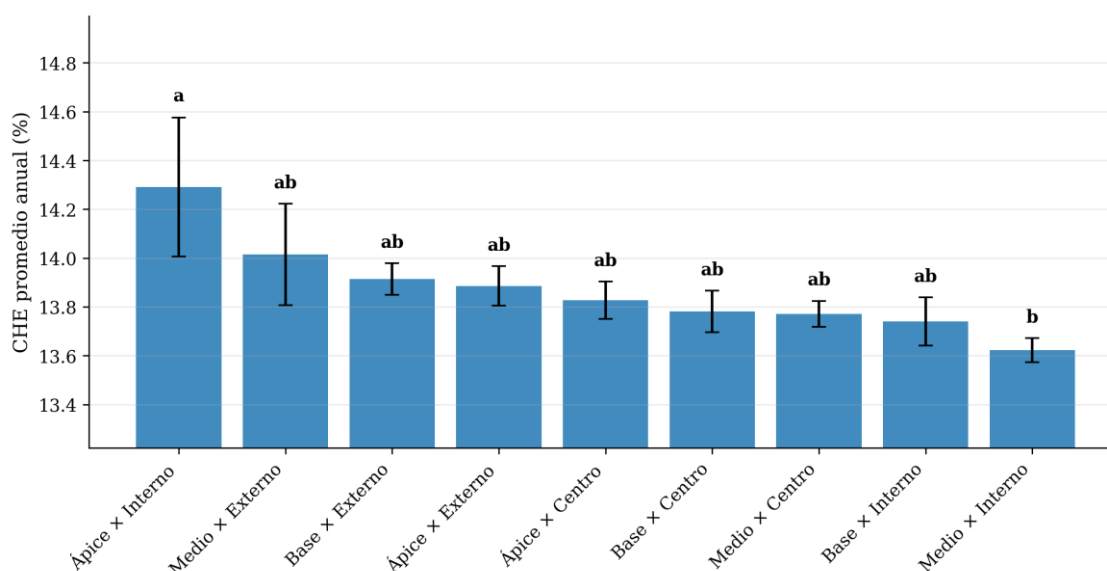


Figura 6. Contenido de humedad de equilibrio promedio anual según la combinación de nivel longitudinal y sección transversal. Las barras representan el error estándar y las letras corresponden a Tukey ($\alpha = 0,05$).

3.3. Condiciones ambientales durante la evaluación

La temperatura y la humedad relativa variaron mensualmente. La humedad relativa alcanzó valores más altos en los meses en los que el CHE aumentó,

especialmente en diciembre y enero; los menores valores de humedad relativa coincidieron con los menores promedios de CHE entre agosto y noviembre. La temperatura mostró un comportamiento inverso a la humedad relativa en varios meses (Figura 7).

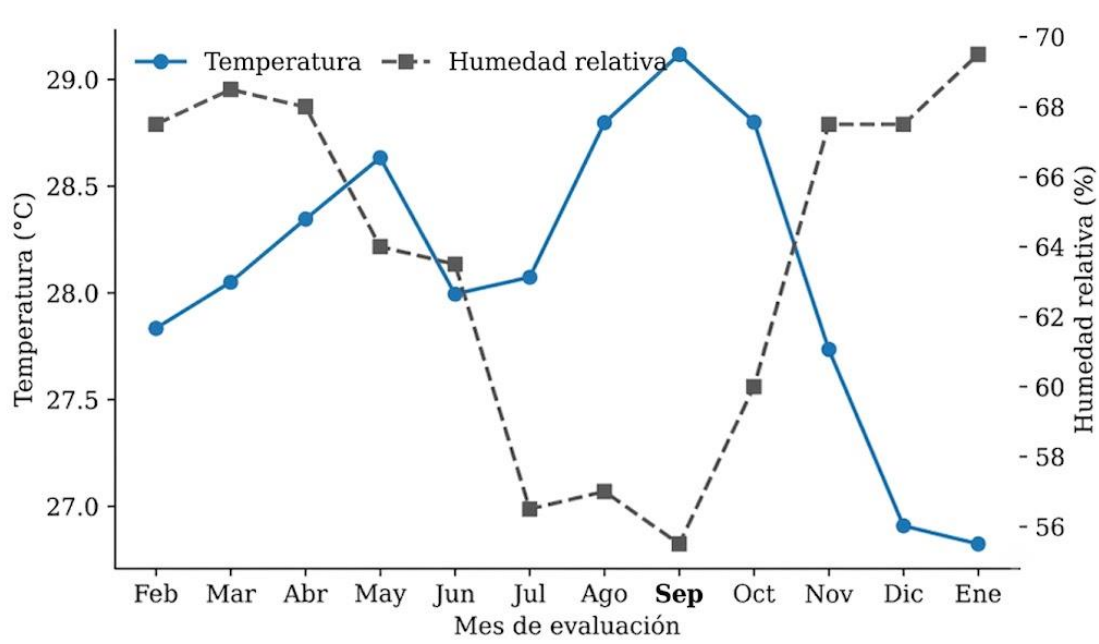


Figura 7. Temperatura y humedad relativa del ambiente durante los meses de evaluación.

3.4. Relación entre el contenido de humedad de equilibrio y las variables ambientales

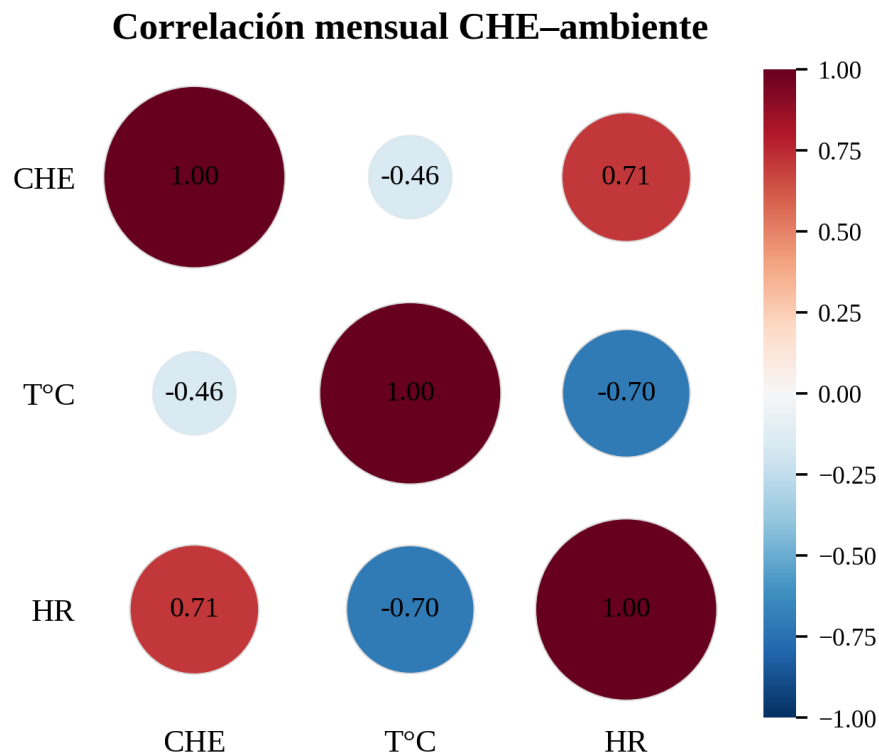
Las correlaciones se calcularon con 12 observaciones, correspondientes a los promedios mensuales. El CHE se relacionó positiva y significativamente con la humedad relativa ($r = 0,711$; $p = 0,010$). La relación con la temperatura fue negativa y no significativa ($r = -0,462$; $p = 0,131$). La temperatura y la humedad relativa presentaron una correlación negativa significativa ($r = -0,704$; $p = 0,011$) (Tabla 4 y Figura 8).

Tabla 4

Correlación exploratoria entre el contenido de humedad de equilibrio promedio mensual y las variables ambientales.

Relación	r	p
CHE promedio vs. temperatura	-0,462	0,131
CHE promedio vs. humedad relativa	0,711	0,010
Temperatura vs. humedad relativa	-0,704	0,011

Nota. Correlaciones de Pearson calculadas con promedios mensuales; $n = 12$ meses.



Nota. Análisis exploratorio con $n = 12$ meses.

Figura 8. Correlograma exploratorio entre el contenido de humedad de equilibrio promedio mensual, la temperatura y la humedad relativa.

El CHE anual presentó correlaciones positivas y muy fuertes con el CHE del periodo húmedo de febrero a abril ($r = 0,99$; $p < 0,001$) y con el CHE bajo de agosto a noviembre ($r = 0,99$; $p < 0,001$). El CHE húmedo y el CHE bajo también estuvieron fuertemente relacionados ($r = 0,96$; $p < 0,001$). La amplitud anual no se correlacionó significativamente con el CHE anual ($r = 0,12$; $p = 0,427$), el CHE húmedo ($r = 0,24$; $p = 0,111$) ni el CHE bajo ($r = -0,02$; $p = 0,918$). No se observó una separación marcada de las unidades por nivel longitudinal o sección transversal (Figura 9).

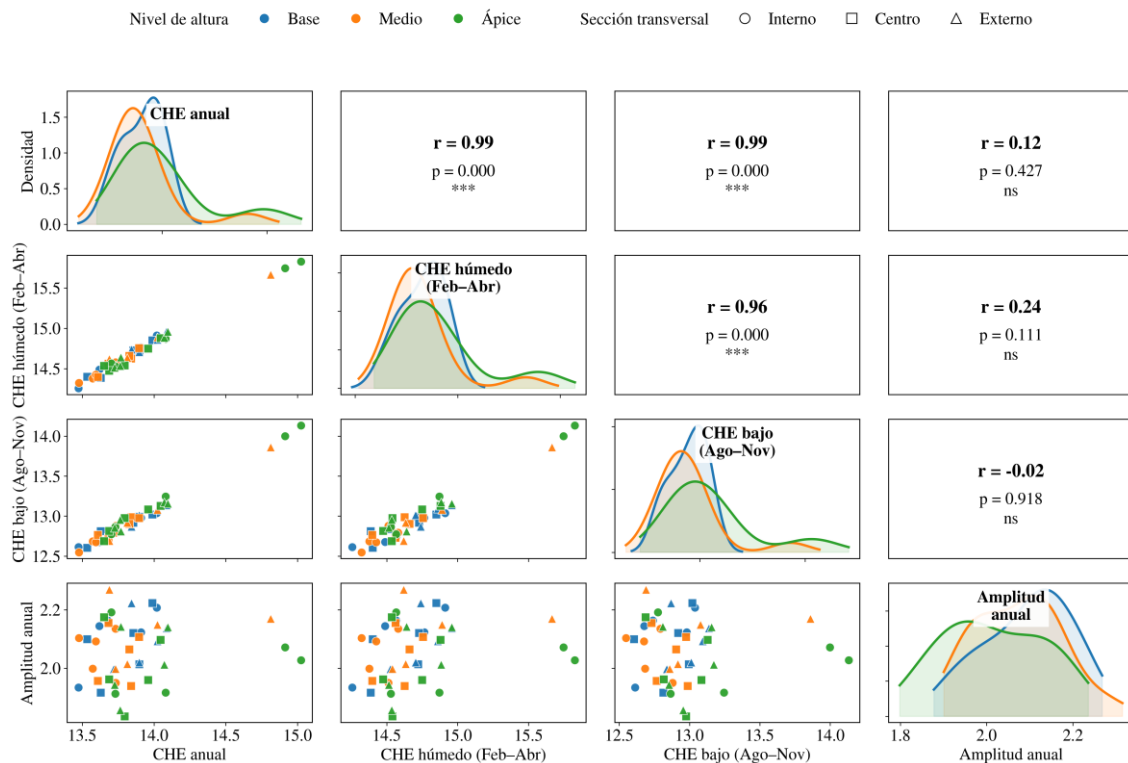


Figura 9. Matriz de dispersión entre indicadores derivados del contenido de humedad de equilibrio de la madera de *Terminalia oblonga*.

4. Discusión

4.1. Variación temporal del contenido de humedad de equilibrio

El promedio anual de 13,87 % y el intervalo mensual de 12,722 % a 14,783 % se encuentran dentro de los rangos descritos para maderas tropicales sometidas a condiciones ambientales variables. Pérez-Peña et al. (2011) registraron valores entre 11,7 % y 17,8 % en especies de distinta densidad. Rosales-Solórzano (2015) informó un promedio anual de 12,63 % para especies comerciales del Perú, con valores mayores durante la época lluviosa, y Rosales-Solórzano (2020) indicó un intervalo aproximado de 12,5 % a 15,5 % para maderas tropicales amazónicas. Por tanto, el patrón observado en *Terminalia oblonga* resulta coherente con el comportamiento higroscópico esperado en ambientes cálidos y húmedos.

4.2. Variación dentro del fuste

La ausencia de efectos independientes de la altura y la sección indica que la variación promedio anual dentro del fuste es reducida. No obstante, la interacción entre ambos factores diferencia las combinaciones ápice × interno y medio × interno. Este resultado coincide parcialmente con estudios que describen variación axial y radial en propiedades físicas de la madera. Omonte y Valenzuela (2019) observaron cambios axiales y radiales del contenido de humedad verde y la densidad básica en *Eucalyptus nitens*; Tuisima-Coral et al. (2017) encontraron diferencias por nivel del fuste en *Guazuma crinita*; y Portal-Cahuana et al. (2023) demostraron variación radial de la densidad básica y la

morfología de fibras en especies comerciales del bosque húmedo tropical peruano.

Las diferencias entre combinaciones podrían relacionarse con cambios internos de densidad, porosidad, proporción de tejidos o extractivos. Hernández (2007) señaló que la densidad y las sustancias extrañas afectan la sorción de humedad en maderas duras tropicales; Jankowska et al. (2017) encontraron que los extractivos pueden reducir el CHE; y Fredriksson et al. (2023) destacaron la influencia de las características fisicoquímicas de la pared celular. Estas explicaciones deben considerarse como mecanismos probables, porque tales propiedades no fueron medidas directamente en el presente estudio.

4.3. Influencia de las condiciones ambientales

La asociación positiva entre el CHE y la humedad relativa confirma que la disponibilidad de vapor de agua en el ambiente es el principal factor relacionado con la variación mensual. Mitchell (2018) reconoció a la humedad relativa como una variable central en la estimación del CHE, mientras que Pérez-Peña et al. (2011) utilizaron conjuntamente la temperatura y la humedad relativa para predecir el equilibrio higroscópico. Simpson (1998) también mostró que las condiciones climáticas locales generan diferencias regionales, lo cual respalda la necesidad de disponer de valores específicos para Tingo María.

La relación negativa, aunque no significativa, entre temperatura y CHE sigue la tendencia descrita para maderas tropicales: el CHE aumenta con la humedad relativa y disminuye conforme se incrementa la temperatura (Manga Bengono et al., 2022). Además, las isotermas de sorción y las propiedades de transferencia de humedad dependen de la especie, la temperatura y la humedad relativa (Simo-Tagne & Rémond, 2022; Simo-Tagne et al., 2016). Debido a que las variables ambientales estuvieron disponibles como promedios mensuales, las correlaciones deben interpretarse como asociaciones exploratorias y no como evidencia causal.

4.4. Implicaciones tecnológicas y limitaciones

Los valores obtenidos constituyen una referencia para definir condiciones de secado, acondicionamiento, almacenamiento y uso de *Terminalia oblonga* en Tingo María. El CHE es relevante para orientar el aprovechamiento tecnológico de maderas tropicales peruanas (Rosales-Solórzano, 2024), puede relacionarse con propiedades como la dureza (Rodríguez et al., 2007) y contribuye a la valorización de especies sudamericanas menos utilizadas (Welling et al., 2023).

La interpretación del estudio está limitada por el uso de registros ambientales mensuales y por la falta de mediciones continuas del microclima, extractivos, densidad y anatomía cuantitativa. Investigaciones posteriores deberían incorporar sensores de registro continuo, isotermas de sorción y caracterización química y anatómica para explicar con mayor precisión las diferencias observadas dentro del fuste.

5. Conclusiones

La madera de *Terminalia oblonga* presentó una variación anual definida del contenido de humedad de equilibrio bajo las condiciones ambientales de Tingo María. El promedio fue 13,87 %, con máximos durante febrero, marzo y abril y mínimos entre setiembre y noviembre. Este patrón aporta un intervalo local de referencia para orientar el secado, acondicionamiento, almacenamiento y uso de la especie.

El nivel longitudinal y la sección transversal no produjeron efectos independientes significativos; sin embargo, la interacción entre ambos factores distinguió a la combinación ápice × interno, con el mayor CHE, de medio × interno, con el menor. Por ello, la posición dentro del fuste tuvo una influencia moderada y dependiente de combinaciones específicas.

La humedad relativa fue la variable ambiental más estrechamente asociada con la variación mensual del CHE, mientras que la temperatura mostró una relación negativa no significativa. En consecuencia, la dinámica temporal del equilibrio higroscópico estuvo vinculada principalmente con los cambios de humedad relativa del ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al técnico Francisco Enrique Medina Estrada, del Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal (LATAMF), y a la técnica Consuelo Gonzales Espinoza, del Laboratorio de Anatomía de la Madera, ambos pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- Arévalo Viena, B. H. (2009). *Determinación de las principales propiedades físicas por niveles de fuste, y posibilidades de uso de la especie Terminalia oblonga (yacushapana amarilla) de la zona del Mangual/Bellavista - Yarinacocha* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/2204>
- Baluarte-Vásquez, J. R., & Álvarez-González, J. G. (2015). Ecología y crecimiento en diámetro de *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pavon) Steudel, pautas para su manejo en bosques inundables de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 24(2), 92–102. <https://doi.org/10.24841/fa.v24i2.77>
- Esen, R., & Türüdü, C. (2020). Variable climate's effect on wood material's equilibrium moisture content in Turkey. *BioResources*, 15(4), 7420–7432. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/variable-climates-effect-on-wood-materials-equilibrium-moisture-content-in-turkey/>

- Forest Products Laboratory. (2021). *Wood handbook—Wood as an engineering material* (General Technical Report FPL-GTR-282). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-282>
- Fredriksson, M., Rüggeberg, M., Nord-Larsen, T., Beck, G., & Thybring, E. E. (2023). Water sorption in wood cell walls—data exploration of the influential physicochemical characteristics. *Cellulose*, 30, 1857–1871. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04973-0>
- Hassan, K. T. S., & Tippner, J. (2025). Vertical and radial variation in wood acoustical and physical properties of *Ailanthus altissima*. *Maderas. Ciencia y tecnología*. <https://doi.org/10.22320/s0718221x/2025.31>
- Hernández, R. E. (2007). Moisture sorption properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. *Wood and Fiber Science*, 39(1), 132–145. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1008>
- Instituto Nacional de Calidad. (2020). *NTP 251.010:2020. Madera. Métodos para determinar el contenido de humedad* (4.^a ed.). INACAL.
- Jankowska, A., Drożdżek, M., Sarnowski, P., & Horodeński, J. (2017). Effect of extractives on the equilibrium moisture content and shrinkage of selected tropical wood species. *BioResources*, 12(1), 597–607. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.597-607>
- Manga Bengono, D. M., Jean Gaston, T., Zobo Mfomo, J., Fongnzossié Fedoung, E., Fopah Lele, A., Banyuy Godwin Fonyuy, B., & Biwolé Achille Bernard, B. (2022). Sorption behaviour of three African tropical woods (Sapelli, Sipo, Kosipo) with similar anatomical structures from Cameroon. *International Wood Products Journal*, 13(3), 194–202. <https://doi.org/10.1080/20426445.2022.2073075>
- Mitchell, P. H. (2018). Calculating the equilibrium moisture content for wood based on humidity measurements. *BioResources*, 13(1), 171–175. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/calculating-the-equilibrium-moisture-content-for-wood-based-on-humidity-measurements/>
- Niemz, P., Njankouo, J. M., Torres, M., & Bachtar, E. V. (2022). Investigations on the sorption behaviour of selected wood species from Cameroon. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100439>
- Omonte, M., & Valenzuela, L. (2019). Variación del contenido de humedad verde y de la densidad básica de la madera en árboles de *Eucalyptus nitens* con dimensiones aserrables. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(3), 413–428. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019000300413>
- Pérez-Peña, N., Valenzuela, L., Díaz-Vaz, J. E., & Ananías, R. A. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(3), 253–266. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
- Portal-Cahuana, L. A., Figueiredo, J. V., Camargo, J. H. C., Vieira, G., Oliveira, D., Alves, L. M., & Latorraca, J. V. F. (2023). Radial variation of wood density and fiber morphology of two commercial species in a tropical humid forest in Southeastern Peru. *CERNE*, 29, e20230027. <https://doi.org/10.1590/01047760202329013143>
- Rodríguez, A., Vásquez Aguilera, Y., & Polanco Tapia, C. (2007). Influencia del contenido de humedad de equilibrio en sorción y desorción sobre la dureza de cuatro especies maderables plantadas en Colombia. *Colombia Forestal*, 10(20), 226–237. <https://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.COLOMB.FOR.2007.1.A12>
- Rosales-Solórzano, E. R. (2015). Variabilidad del contenido de humedad-equilibrio de la madera de diez especies comerciales para tres regiones del Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 13–21. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2456>
- Rosales-Solórzano, E. R. (2020). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios,

- Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(40), 33–42.
<https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i40.4933>
- Rosales-Solórzano, E. R. (2024). Variation of the electrical resistivity of Peruvian tropical woods. *Floresta e Ambiente*, 31(2), e20230027. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2023-0027>
- Simo-Tagne, M., & Rémond, R. (2022). Sorption isotherms and moisture transfer properties of seven Central Africa hardwood species. *Wood Material Science & Engineering*, 18(2), 507–516. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2051736>
- Simo-Tagne, M., Rémond, R., Rogaume, Y., Zoulalian, A., & Perré, P. (2016). Characterization of sorption behavior and mass transfer properties of four Central Africa tropical woods: Ayous, Sapele, Frake, Lotofa. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(3), 403–412. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000020>
- Simpson, W. T. (1998). *Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide* (Research Note FPL-RN-0268). USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplrn/fplrn268.pdf>
- Thybring, E. E., Fredriksson, M., Zelinka, S. L., & Glass, S. V. (2022). Water in wood: A review of current understanding and knowledge gaps. *Forests*, 13(12), 2051. <https://doi.org/10.3390/f13122051>
- Tomczak, K., Tomczak, A., Naskrent, B., & Jelonek, T. (2021). The radial gradient of moisture content of silver birch wood in different seasons. *Silva Fennica*, 55(3), Article 10545. <https://doi.org/10.14214/sf.10545>
- Tuisima-Coral, L. L., Weber, J. C., Takahashi, M., Cornelius, J. P., & Yamamoto, K. (2017). Variation in wood physical properties within stems of *Guazuma crinita*, a timber tree species in the Peruvian Amazon. *Madera y Bosques*, 23(1), 63–78. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311534>
- Welling, J., Bartolo-Cuba, J. A., Sánchez-Blanco, J. C., Ahrens-Castillo, J. L., & Ugarte-Oliva, J. A. (2023). Wood/water relations of 15 South American lesser-used wood species. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 25, Article 24. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2023000100424>