

Variabilidad del **contenido de humedad-equilibrio** de la madera de diez especies comerciales para tres regiones del Perú

Emer-Ronald Rosales-Solórzano¹

Resumen

La investigación tuvo por objeto determinar el contenido de humedad-equilibrio (CHE) de la madera por año, época y estación en Puerto Maldonado y predicción anual para Huánuco y Lima. El método seguido fueron en base a los procedimientos de las normas ASTM, D – 2395 e INDECOPI-251 011, metodología que consistió en medir instantáneamente las probetas de madera y secar en estufa las mismas, que nos sirvió para determinar el CHE, peso actual (Pa) midiendo una vez por semana durante un año, calcular la densidad básica (DB) de la madera y estimar el peso específico de la pared celular (G_{bpc}). El CHE de la madera promedio al año fue 12,63 % variando de 9 a 16 % rango entre 0,92 a 0,27 g/cm³ de DB, con un coeficiente de variación del CHE mayor en maderas de menor DB. El CHE por estaciones en Puerto Maldonado fue en verano 13,48 %, otoño

Abstract

Variability equilibrium moisture content of wood of ten commercial species for three regions of Perú

The aim of this research was determining the balance moisture content (BMC) of wood per year, time and station in Puerto Maldonado and annual forecast for Huánuco and Lima. Standard test methods for small specimens of timber ASTM D - 2395 and Peruvian technician rules INDECOPI-251 011 were the methodology. where we measured the oven and dry samples wood instantly, which helped us to determine the BMC, current weight (CW) measured once a week for a year, to calculate the basic density (BD) of wood and estimating the specific gravity of the cell wall (SG_{fcw}). The BMC of wood per year average was 12,63 % ranging from 9-16 % and basic density (DB) range between 0,92 to 0,27 g/cm³, with a coefficient of variation greater of BMC in woods of less BD. The BMC

1. Facultad de Ciencias Forestales y Medio Ambiente, Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; Peru; errs1973@gmail.com

Recibido: 22/06/2015
Aceptado: 06/07/2015

12,85 %, invierno 12,12 % y primavera 12,03 %, y en la época seca 12,12 % y época lluviosa 13,13 %, donde existió diferencia estadística significativa para especies maderables, estaciones y épocas, excepto cuando se compara medias de estación de invierno con primavera. La Gbpc promedio fue 1,419 y varió de 1,578 a 1,339, que permitió con la ecuación de Pérez et al., estimar el CHE para Puerto Maldonado 13,19 %, Lima 15,17 % y Huánuco 12,77 %.

Palabras clave: densidad básica, humedad en maderas, Perú.

Introducción

El conocimiento del contenido de humedad-equilibrio (CHE), relacionado con la densidad básica, se toma en cuenta en los procesos de secado y preservación por parte de los operadores, empresas, vendedores, compradores y usuarios de madera. Ello tiene importancia técnica, económica, social y ambiental, puesto que brinda la posibilidad de formar grupos de especies maderables con características anatómicas, de densidad básica y de humedad-equilibrio similares, usos adecuados al interior y exterior, además de garantizar un proceso con calidad y eficacia, ya que permite el establecimiento de mejores condiciones de operación y obtener materia prima y productos de excelente calidad (Tamarit y Fuentes, 2003). La madera que se utiliza debe corresponder a la más adecuada para servir en cada ambiente. De este modo se evitarán cambios dimensionales y deformaciones no deseadas (Bluhm, Rosende y Kauman, 1965; Peck, 1965; Rosende, 1969; Vergara y González, 1993; y Pérez, Valenzuela, Díaz y Ananías, 2011). El mismo que contribuye con el desarrollo sostenible forestal. Del mismo modo, Siau (1984), Ball et al. (2001) y Pérez et al. (2011), manifestaron que la humedad relativa (HR) del aire es el factor más importante afectando el CHE de la madera, otros factores son la especie, la densidad, porosidad de la madera y la temperatura (T) del aire. Así como también, la diferencia entre albura y duramen en una misma especie, y la cantidad de extractivos. Sin embargo, en la literatura revisada para especies peruanas no se encontraron evidencias acerca de la predicción de la humedad-equilibrio de la madera en función de la densidad básica, variabilidad que justificó realizar la presente investigación

Por otro lado es importante conocer que la humedad de la madera se equilibra con la del medio ambiente, y varía según ésta en invierno o verano y durante el día. La madera expuesta a condiciones atmosféricas constantes alcanzará con tiempo un CHE. Este contenido de humedad depende de la temperatura del aire circundante, de la humedad

stations in Puerto Maldonado summer was 13,48 %, 12,85 % autumn, winter 12,12 % and spring 12,03 % and in the dry season and rainy seasons 12,12 % 13,13 % where there was a significant statistical difference for timber species, seasons and times, except when stockings winter season compared to spring. SGfcW average was 1,419 and ranged from 1,578 to 1,339, which allowed to Pérez et al., equation estimating the BMC for Puerto Maldonado-13,19 %, Huanuco-15,17 % and Lima-12,77 %.

Keywords: basic density, wood moisture, Peru.

relativa y de las condiciones de secado a las cuales haya sido sometida previamente la madera. El CHE varía con los cambios en una o ambas condiciones atmosféricas. Maderas que son aparentemente iguales, generalmente no alcanzan el mismo contenido de humedad de equilibrio bajo idénticas condiciones atmosféricas, debido a las variaciones en los contenidos de extractivos o condiciones previas de secado, las cuales pueden originar uniones permanentes de los grupos hidroxilos y en consecuencia una disminución de la capacidad de la madera para adsorber humedad.

El CHE de la madera expuesta al aire bajo cubierta en la mayor parte de los Estados Unidos oscila entre 12 y 15 por ciento. Por norma, el contenido de humedad de más o menos 12 % se conoce con el nombre de contenido de humedad seco al aire. Los cambios en el contenido de humedad de la madera, en respuesta a los cambios de temperatura y humedad del aire, son función del tiempo, con rápidas variaciones al principio y cambios muy lentos a medida que el contenido de humedad de la madera se acerca al punto de equilibrio. Estas fluctuaciones pueden ser bastante significativas en la superficie de la madera, donde las pérdidas y ganancias de humedad son rápidas. En el interior de las piezas los cambios en el contenido de humedad ocurren a una velocidad menor, debido al mayor tiempo necesario para que se produzca la difusión del agua a través de ellas. Cuando existen diferencias en el contenido de humedad dentro de una pieza de madera, existirá también una transición gradual entre los contenidos de humedad máximo y mínimo presentes (Arroyo, 1983; Wright y Osorio, 1992).

La DB de las maderas ligeras varía de 0,10 a 0,30 g/cm³ (Ochroma y Ceiba) y las maderas más pesadas van desde 1,2 hasta 1,4 g/cm³ (Guajacum y Brosimum). Con respecto al peso específico de la pared celular (Gbpc), los investigadores hallaron para todas las maderas un valor de 1,56 con variaciones insignificantes, únicamente en trozos de madera muy rica en resinas desciende a 1,52, mientras que en maderas fuertemente lignificadas puede

Cuadro 1. Maderas utilizadas para ensayo físico de 10 especies forestales.

Table 1. Wood used for physical test 10 tree species.

Especies		
Nombre científico	Nombre vernacular	Tipo de madera
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Peine de mono	Albura y duramen
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg	Manchinga	Albura y duramen
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Tornillo	Duramen
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	Misa blanca	Duramen
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Bolaina negra	Albura y duramen
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM	Achihua	Albura y duramen
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	Quinilla	Duramen
<i>Spondias mombin</i> L.	Ubos	Albura y duramen
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	Duramen
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	Tahuari	Albura y duramen

llegar hasta 1,62. Por otro lado utilizando el método por desplazamiento de agua para celulosa pura de madera se encontró hasta 1,62 y para lignina 1,42 y que por falta de determinaciones exactas para otras maderas se usa de 1.5 (Kollmann, 1959). Otros valores de Gbpc reportan: Kollman y Côté (1968) igual a 1,50. Siau (1984) y Simpson (1993) igual a 1,53 y Diaz-vaz, Knigge y Echols (1975) igual a 1,0. Sin embargo, el Gbpc en un reciente estudio en 9 especies forestales, encontró como promedio 1,45 y el valor mínimo y máximo varía de 1,392 a 1,492 (Pérez et al., 2011).

El objetivo de la investigación fue determinar el contenido de humedad-equilibrio (CHE) de la madera por año, época y estación en Puerto Maldonado y predicción anual para Huánuco y Lima.

Material y métodos

El estudio se realizó en la xiloteca de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios de la ciudad de Puerto Maldonado, región de Madre de Dios, ubicada a 12° 36' latitud sur y 77° 32' longitud oeste. Tiene una altitud de 139 msnm, posee una precipitación media anual de 1953 mm, una temperatura media anual de 26,7 °C y humedad relativa media anual de 84,7 % (SENAMHI, 2013).

El tipo de investigación aplicado fue experimental y el método de investigación analítico y explicativo. De una población de 150 especies diferentes con estudios físicos y tecnológicos completos de su madera que se tiene en el país (Acevedo y Valenzuela, 2013). Por fórmula de Alkin y Colton (citado por Córdova, 1997) se obtiene una muestra de 105 especies. El estudio se desarrolló en 5 etapas.

Primera etapa. Consistió en recopilar y buscar información solo sobre propiedades físicas de la madera en forma oficial y publicada de 105 maderas peruanas.

Segunda etapa. Consistió en hacer los ensayos físicos con 10 maderas seleccionados al azar, considerando 2 especies forestales maderables por cada uno de los 5 grupos de DB clasificada según Aróstegui, 1982 como se aprecia en el cuadro 1.

La probeta de 25 x 100 x 150 mm, se usó para determinar el contenido de humedad-equilibrio por el método de medición instantánea, que consistió en introducir el higrómetro de pines en la cara de las probetas en forma perpendicular a las fibras en las 10 especies maderables entre las 11 y 12 horas del día una vez por semana (lunes), repitiéndose cada semana, durante un periodo de 12 meses (JUNAC, 1998).

La probeta 25 x 25 x 100 mm, se usó para determinar la densidad básica (DB), utilizándose la norma del INDICOPI NTP No. 251,011:2004. Se saturó las probetas en agua a 100 °C por un periodo de 24 horas, determinándose su masa saturada, luego se sometió las probetas al secado en horno 103 °C ± 2 °C, hasta alcanzar peso constante. La masa saturada y anhidra se tomó mediante una balanza digital (precisión 0,01 g) y su volumen saturado y anhidro por inmersión en agua (norma D-2395, ASTM 1998).

La densidad básica se calculó con la ecuación siguiente:

$$DB = Mo/Vs \quad (1)$$

DB = Densidad básica de la madera (g/cm³). Mo = Masa anhidra de la probeta (g). Vs = Volumen de la probeta saturada (cm³).

Las mini probetas de 25 x 25 x 5 mm, se usó para determinar el CHM de la madera y el peso específico de la pared celular (Gbpc). La determinación del Gbpc se realizó con la metodología desarrollada por Valenzuela, Ramírez, Levancini, y Arévalo (2004). Esto consistió en someter las mini probetas a saturación en agua a 100 °C por un periodo de 4 horas, terminando completamente

Cuadro 2. Variables ambientales en Puerto Maldonado, Lima y Huánuco.
Table 2. Environmental variables in Puerto Maldonado, Lima and Huánuco.

Lugar	Temperatura media anual (°C)			Humedad relativa media anual (%)		
	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Puerto Maldonado	31,5	19,5	26,7	93,0	74,0	84,7
Lima	22,0	17,3	19,4	93,5	71,4	84,4
Huánuco	26,4	13,7	20,0	85,5	38,2	66,3

Fuente: SENAMI, 2013. Nota: Promedio de los últimos 30 años.

saturadas. A las mini probetas saturadas, se les determinó su masa mediante una balanza digital (precisión 0,01 g) y su volumen por inmersión en agua (norma D-2395, ASTM 1998). Posteriormente estas mini probetas se secaron en un horno a 103 ± 2 °C, durante 48 horas y se obtuvo su masa anhidra de cada uno de ellos. Método conocido por desplazamiento de agua desarrollado por Siau (1984).

El CHM y el peso específico básico saturado (Gbs) se determinó con las ecuaciones siguientes:

$$CHM = \{(Ms - Mo)/Mo\} * 100 \quad (2)$$

CHM = Contenido de humedad máximo (%). Ms = Masa saturada en agua (g). Mo = Masa anhidra (g).

$$Gb_s = (Mo/Vs)/p \quad (3)$$

p = Densidad del agua (g/cm³). Gbs = Peso específico básico saturado. Vs = Volumen saturado (cm³).

Con la fórmula desarrollada por Smith (1954), usando el método del CHM, se determina el peso específico de la pared celular en estado anhidro (Gbpc) con la ecuación siguiente:

$$Gbpc = Gb_s / (1 - 0,01 * Gb_s * CHM) \quad (4)$$

Gbpc = Peso específico de la pared celular en estado anhidro (adimensional). Gbs = Peso específico básico saturado (adimensional). CHM = Contenido de humedad máximo (%).

Tercera etapa. Consistió en determinar el CHE por la fórmula de Pérez et al. (2011) y el cuadro 2 para estimar el CHE de Puerto Maldonado, Lima y Huánuco. Cuya ecuación es:

$$CHE = 135,025 - 0,349T - 156,80K_1 + 38,321Gbpc - 1,678K_2 + 0,559K_1T$$

$$K_1 = 0,03271 + 0,002332Pa + 0,000604T - 0,000112HR$$

$$K_2 = 98,5456 + 0,1312T - 0,0257HR - 86,6601K_1$$

T: Temperatura. HR: Humedad relativa. Pa: peso actual (g). Gbpc: Peso específico de la pared celular. K1 y K2: Constantes

El procesamiento se realizó con el paquete estadístico SPSS –19, haciendo el análisis de varianza de Fisher con el diseño completamente aleatorizado (DCA) y prueba de Tukey.

Resultados

En el cuadro 3, se muestra el comportamiento que tiene el CHE expresado en porcentaje con relación a la densidad básica, se encontró que al aumentar la densidad básica de la madera en un rango de 0,266 a 0,919 g/cm³, el CHE manifiesta un decremento con un rango de variación de los valores estimados del 15,795 al 9,467 %.

En la figura 1, haciendo una correlación lineal entre CHE y DB se puede apreciar que tiene un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,65$ y un coeficiente de correlación $R = 0,806$, siendo ello una correlación buena.

En el cuadro 4, se muestra la variación del CHE promedio mensual por especie, durante un año, desde marzo hasta febrero del año siguiente. Se puede observar para cada especie, una disminución paulatina del CHE desde febrero hasta setiembre, luego se observa que el CHE aumenta desde setiembre hasta febrero del siguiente año. El promedio anual del CHE fue mayor para la especie peine de mono y menor para especie tahuari.

En la figura 2, se muestra que el promedio por estaciones del CHE de verano, otoño, invierno y primavera manifiesta un decrecimiento con un rango de variación promedio 13,38 a 12,03 %, siendo mayores en la especie peine de mono y menores en la especie tahuari.

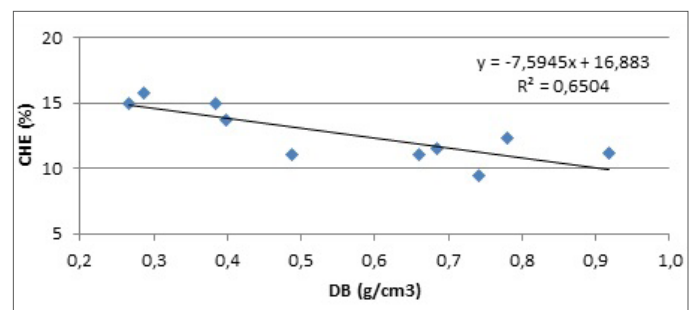


Figura 1. Relación contenido de humedad en equilibrio (CHE) de la madera del año y densidad básica de la madera (DB) medido de 10 maderas ensayadas de Puerto Maldonado.

Figure 1. Relative equilibrium moisture content (BMC) wood of the year and basic wood density (BD) measured 10 woods tested in Puerto Maldonado.

Cuadro 3. Contenido de humedad-equilibrio (CHE) de la madera del año y densidad básica de la madera (DB) medido de 10 maderas ensayadas de Puerto Maldonado.

Table 3. Equilibrium moisture content (BMC) wood of the year and basic wood density (DB) measured 10 woods tested in Puerto Maldonado.

Especies	DB (g/cm ³)	CHE (%)
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	0,266	15,021
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	0,287	15,795
<i>Spondias mombin</i> L. (Ubos)	0,384	14,993
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	0,399	13,698
<i>Swietenia macrophylla</i> King (Caoba)	0,488	11,095
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke (Tornillo)	0,659	11,049
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	0,685	11,572
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuari)	0,740	9,467
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	0,779	12,383
<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	0,919	11,181
Promedio		12,625

Cuadro 4. Porcentaje de variación mensual y anual del contenido de humedad-equilibrio (CHE) de 10 maderas ensayadas de Puerto Maldonado (Madre de Dios).

Table 4. Percentage of monthly and annual change in the equilibrium moisture content (BMC) 10 woods tested in Puerto Maldonado (Madre de Dios).

Mes	Especies									
	Peine de mono	Achihua	Ubos	Bolaina negra	Caoba	Tornillo	Misa blanca	Manchinga	Tahuari	Quintilla
E	16,30	15,45	15,90	14,43	11,75	11,70	13,03	12,28	10,38	11,63
F	18,23	16,78	16,63	14,58	12,63	12,33	14,18	13,20	11,13	12,48
M	17,85	16,35	16,20	14,70	11,10	11,03	12,60	11,63	9,85	11,25
A	16,54	15,88	15,66	14,12	10,58	10,88	12,46	11,98	9,22	10,96
M	16,33	15,33	15,08	13,93	10,65	10,60	12,60	11,43	9,33	11,05
J	16,83	15,65	15,45	14,00	11,15	11,03	13,05	12,08	9,18	11,58
J	16,54	15,80	15,76	14,46	11,24	11,48	13,54	12,30	9,66	11,74
A	13,15	13,08	13,38	12,60	10,53	10,45	10,83	10,45	8,30	10,38
S	12,58	12,48	12,52	12,00	10,22	9,90	11,12	10,02	8,22	9,98
O	14,25	13,68	13,63	12,35	10,60	10,48	10,95	10,60	8,85	10,68
N	14,55	14,08	14,10	12,63	10,90	11,05	11,25	10,85	9,23	10,85
D	16,40	15,72	15,62	14,60	11,80	11,68	13,00	12,06	10,28	11,62
Media	15,79	15,02	14,99	13,70	11,10	11,05	12,38	11,57	9,47	11,18
Min.	12,58	12,48	12,52	12,00	10,22	9,90	10,83	10,02	8,22	9,98
Max.	18,23	16,78	16,63	14,70	12,63	12,33	14,18	13,20	11,13	12,48
D. Est.	1,77	1,36	1,28	1,00	0,68	0,67	1,10	0,93	0,85	0,68
C.V.	11,21	9,04	8,53	7,32	6,15	6,03	8,86	8,03	8,97	6,07

Nota: Min.: Mínima; Max.: Máxima; D. Est: Desviación estándar; C.V. (%): Coeficiente de variación.

Cuadro 5. Variables físicas para estimar el CHE para Puerto Maldonado, Huánuco y Lima, según ecuación de Pérez et al., 2011.

Table 5. Physical to estimate the BMC to Puerto Maldonado, Huanuco and Lima, according to equation Pérez et al., 2011 variables.

Especies	DB (g/cm ³)	Pa (g)	Medido Gbpc	Estimado Gbpc
<i>J. copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	0,266	126,671	1,523	1,477
<i>A. tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	0,287	99,049	1,405	1,473
<i>S. mombin</i> L. (Ubos)	0,384	181,353	1,578	1,454
<i>G. ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	0,399	166,720	1,301	1,451
<i>S. macrophylla</i> King (Caoba)	0,488	289,731	1,500	1,434
<i>C. cateniformis</i> (Ducke) Ducke (Tornillo)	0,659	295,183	1,348	1,399
<i>B. lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	0,685	266,678	1,444	1,394
<i>T. serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuari)	0,740	325,524	1,363	1,383
<i>E. coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	0,779	346,060	1,389	1,376
<i>M. bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	0,919	390,870	1,339	1,348
Promedio			1,419	1,419

Nota: DB: densidad básica; Pa: Peso actual; Gbpc: Peso específico de la pared celular.

Cuadro 6. CHE estimado para Puerto Maldonado, Huánuco y Lima considerando variables ambientales (OT y HR) y propiedades físicas (Pa y Gbpc), según ecuación de Pérez et al., 2011.

Table 6. Estimated BMC Puerto Maldonado, Huánuco and Lima considering environmental variables (OT and HR) and physical properties (CW and SGfCW) according equation Pérez et al., 2011.

Especies	Pa (g)	Gbpc Estimado	CHE (%) estimado		
			Pto. Mald.	Hco	Lima
<i>J. copaia</i> (Aubl.) D. DOM (Achihua)	126,671	1,477	13,65	14,05	17,14
<i>A. tibourbou</i> Aubl. (Peine de mono)	99,049	1,473	13,10	13,67	16,93
<i>S. mombin</i> L. (Ubos)	181,353	1,454	13,55	13,58	16,36
<i>G. ulmifolia</i> Lam. (Bolaina negra)	166,720	1,451	13,23	13,36	16,22
<i>S. macrophylla</i> King (Caoba)	289,731	1,434	14,34	13,65	15,81
<i>C. cateniformis</i> (Ducke) Ducke (Tornillo)	295,183	1,399	13,11	12,39	14,51
<i>B. lactescens</i> (S. Moore) C.C. Beg (Manchinga)	266,678	1,394	12,50	11,97	14,26
<i>T. serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson (Tahuari)	325,524	1,383	12,93	12,01	13,96
<i>E. coriacea</i> (DC.) S.A. Mori (Misa blanca)	346,060	1,376	12,94	11,88	13,71
<i>M. bidentata</i> (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)	390,870	1,348	12,53	11,17	12,74
Promedio			13,19	12,77	15,17

DB: Densidad básica; Pa: Peso actual; Gbpc: Peso específico de la pared celular. Pto. Mald.: Puerto Maldonado; Hco.: Huánuco.

El valor de Fisher calculado de los valores medidos del CHE de las 10 maderas y las 4 estaciones de: verano, otoño, invierno y primavera es 122,569 y 31,761, siendo mayor al valor Fisher crítico a un nivel de significancia de 0,05 de error (2,250 y 2,960). Aplicando la prueba de comparación de promedios de Tukey, se confirmó que hay diferencia estadística significativa al 0,05 para especies maderables y estaciones, excepto solo cuando se compara la estación de invierno y primavera.

En la figura 3, se muestra que el promedio del CHE de Puerto Maldonado en la época lluviosa es 13,13 % y época seca 12,12 %, siendo mayor en la especie peine de mono y menor en la especie tahuari. Según Fisher existe diferencia

estadística significativa porque el valor del F calculado de los valores medidos del CHE de las 10 especies en el factor maderas (137,327), época seca y lluviosa (78,738) es mayor que el valor F crítico a un nivel de significancia de 0,05 de error (3,179 y 5,117). Aplicando Tukey en la prueba de comparación de promedios, se confirmó que hay diferencia estadística para especies maderables y épocas del año a un nivel de significancia de 0,05 de error.

En el cuadro 5, los valores de algunas propiedades físicas medidas para las especies y ordenadas por densidades de menor a mayor fue para la Gbpc un promedio estimado de 1,419 y el valor mínimo y máximo calculado fue de 1,339 - 1,503 y 1,348 - 1,477.

En el cuadro 6, se muestra el CHE estimado para la ciudad de Huánuco y Lima determinados con la ecuación de Pérez et al. (2011), en función de sus variables ambientales (temperatura máxima y humedad relativa mínima) y variables físicas de 10 maderas (peso actual y peso específico de la pared celular). Se encontró que en un rango del peso actual 99 a 391 g y un peso específico 1,477 a 1,348, el CHE en Puerto Maldonado (31,5 °C – 74 %) ostenta un decremento con rango de variación del 13,65 al 12,50 %, Huánuco (26,4 °C – 38,2 %) manifiesta un decrecimiento con un rango de variación de los valores estimados de 14,05 a 11,17 %, por su parte Lima (22 °C – 71,4 %) también manifiesta un decrecimiento con un rango de variación de los valores estimados de 17,14 a 12,74 %.

Discusión

Según el cuadro 3, la variación del CHE de las 10 maderas se debe a los cambios de las condiciones ambientales, producto de las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa del aire circundante, propias de las estaciones del año para un clima como el de Puerto Maldonado. Es importante mencionar que la variación del promedio mensual del CHE del valor medido, a lo largo de un año, de las maderas de la especie achihua y peine de mono en este estudio fue ligeramente mayor y para la madera de la especie manchinga ligeramente menor a lo reportado por Lluncor (2013) para la localidad de Pucallpa, región Ucayali, pero al no contarse con el método de su determinación del CHE realizado por Lluncor (2013), no es posible hacer su discusión con mayor confiabilidad. Sin embargo según figura 1, existe una buena correlación entre el CHE y la DB.

Según el cuadro 4, la variación del promedio mensual del CHE, a lo largo de un año, de las especies caoba, ubos, manchinga, tahuari, entre otras especies tropicales de este estudio, fue similar a los reportados por Tamarit y Fuentes (2003) y similar a otras especies sub tropicales encontradas por Bluhm et al. (1965), Rosende (1969) y Pérez et al. (2011). Esto implica que, cuando se utilizan gráficos, tablas o fórmulas que sólo consideran las variables termodinámicas del ambiente como la temperatura y humedad relativa, y no las características físicas, químicas y anatómicas de la madera, se producen diferencias con los valores medidos en la práctica que explican Ahmet, Dai, Jazayeri, Tomlin, Kaczmar, y Riddiough (1999). El coeficiente de variación (CV) del CHE, para las especies con menor DB presentaron una mayor variabilidad que las especies con mayor DB, similar a lo reportado por Pérez et al. (2011). Las especies que mostraron una mayor variación del promedio anual del CHE fueron: peine de mono (duramen y albura) y achihua (duramen y albura), con un CV de 11,21 y 9,04 %. Por otro lado, las especies que tuvieron una menor variabilidad anual del CHE fueron el tornillo (duramen) y quinilla (albura), con un CV de 6,03 y 6,07 %, respectivamente.

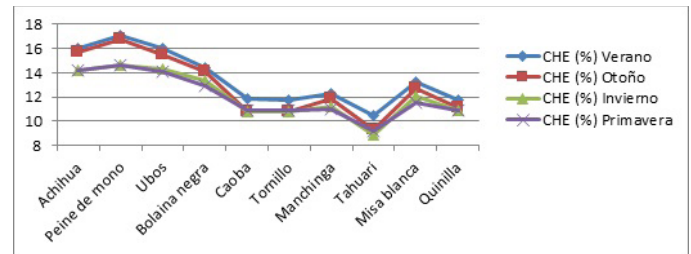


Figura 2. Porcentaje de variación por estaciones en verano, otoño, invierno y primavera del contenido de humedad de equilibrio (CHE), para 10 maderas ensayadas de Puerto Maldonado (Madre de Dios).

Figure 2. Percentage change seasonally in summer, autumn, winter and spring moisture content equilibrium (BMC) 10 woods tested in Puerto Maldonado (Madre de Dios).

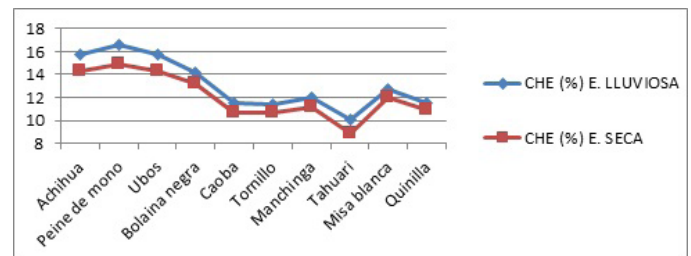


Figura 3. Porcentaje de variación por época lluviosa y seca del contenido de humedad-equilibrio (CHE) de 10 maderas ensayadas de Puerto Maldonado.

Figure 3. Percentage change from rainy and dry seasons equilibrium moisture content (BMC) 10 woods tested in Puerto Maldonado.

Según figura 2, el contenido de humedad-equilibrio tubo una clara variabilidad tanto por especies como estaciones de verano, otoño, invierno y primavera, lo que indica que hay diferencia matemática. Del análisis de variancia también se aprecia una clara diferencia estadista por Fisher para las 10 maderas en 4 estaciones a un nivel de significancia de 0,05 de error. Asimismo Tukey reafirma una diferencia estadística significativa al 0,05 para especies maderables y estaciones, excepto la estación de invierno y primavera. Los mismos que al carecer estudios realizados al respecto dificultan su comparación. Sin embargo es de suponer su variación, porque es debido a cambios de condiciones ambientales, fluctuaciones de temperatura y humedad relativa propias de las estaciones.

Según figura 3, la variación del CHE por maderas de 10 especies difieren en sus valores medidos por especies y en época seca y lluviosa en Puerto Maldonado, pero por carecer de otros reportes específicos hechos en especies forestales tropicales en la región, país y extranjero dificulta su discusión con otros autores. Sin embargo es de suponer su diferencia, que es debido a cambios de condiciones ambientales, fluctuaciones de temperatura y humedad relativa propias de épocas del año y lo demostrado por Pérez et al. (2011). Novoa (2005), reporta para Pucallpa, ciudad de condición climática semejante

a Puerto Maldonado un CHE para la época: seca 14 % y lluviosa 16 %. La variación en la época seca y lluviosa para los valores medidos del CHE es significativo por Fisher tanto para maderas y estaciones estudiadas al 0,05 de error y 95 % de confiabilidad, lo que indica que hay diferencia estadística. Tukey, reafirma también una diferencia estadística significativa al 0,05 para especies maderables y épocas del año. Los mismos que al carecer reportes realizados al respecto no habría discusión.

Según el cuadro 5, los valores estimados de Gbpc fue de 1,477 para achihua, 1,348 para quinilla y un promedio para las 10 especies estudiadas de 1,419, usando agua como medio de desplazamiento, estos valores fueron menores a los encontrados por Kollman y Côté (1968) de 1,50, por Siau (1984), Simpson (1993) de 1,53 y Pérez et al. (2011) de 1,45 y mayores a los informados por Diaz-vaz et al. (1975) de 1,0 calculada a partir de valores de densidad, medida con rayos X y determinaciones ópticas de la pared celular, al 12 % de contenido de humedad.

Según el cuadro 6, el promedio de la variación del CHE de los valores estimados en la época seca y lluviosa para Puerto Maldonado, Huánuco y Lima, se encuentra dentro los rangos reportados por Gonzales, 1996; Rosales, 2002, Valenzuela, 2007 y Rosales, 2009, quienes registran para Puerto Maldonado 16 % y Lima 15 % de CHE de la madera y por Novoa (2005), que obtiene para Huánuco 12 % y Lima 14 %. Esto indica que el uso de la To máxima y HR mínima anual de cada ciudad para estimar el CHE sería el correcto en comparación al uso del promedio anual de la To y HR que sobreestima. Sin embargo es importante mencionar que para Puerto Maldonado se obtuvo un promedio de 12,63 % de CHE medido y ajustado, comparado con la estimación de la ecuación de Pérez et al. (2011) igual a 13,19 %, siendo solo 0,56 % de diferencia mayor. Esta ligera diferencia del CHE por ciudades sería debido a que el CHE del estudio se midieron directamente en la madera de las diez especies durante un año que considera propiedades físicas de la madera y no solamente toma en cuenta factores ambientales (To y HR) como fue los reportes que utilizaron el ábaco de Kollmann (1959) y ecuaciones de Simpson (1993).

Conclusiones

El contenido de humedad-equilibrio medido (CHEm) de las 10 maderas en promedio fue 12,63 % que varía de 9 a 16 %, el mismo que tiene buena correlación significativa con la densidad básica.

En Puerto Maldonado existe variación y diferencia estadística significativa del contenido de humedad-equilibrio (CHE) por especies y estaciones: en verano fue 13,48 %, otoño 12,85 %, invierno 12,12 % y primavera 12,03 %, y épocas del año: en época seca fue 12,12 % y época lluviosa 13,13 %.

El coeficiente de variación (CV) del contenido de humedad-equilibrio (CHE) de la madera de 10 especies estudiadas, fue mayor en maderas de menor densidad básica (DB).

El peso específico básico de la pared celular (Gbpc) promedio para las 10 especies estudiadas fue 1,419.

El contenido de humedad-equilibrio de la madera estimado (CHEe) con la ecuación de Pérez et al. (2011), fue para la ciudad de Lima 15,17 %, Puerto Maldonado 13,19 % y Huánuco 12,77 %, pero el valor promedio medido en el estudio para Puerto Maldonado fue 12,63 %, es decir una diferencia de solo 0,56 %.

Agradecimientos. A la xiloteca de la Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios de donde se extrajo las muestras maderables y a todos mis colegas, amigos y personas, que de una y otra manera apoyaron en el levantamiento de datos de la investigación.

Referencias

- Acevedo, M. y Valenzuela W. (2013). Información personalizada sobre estudios tecnológicos de la madera en el país. Lima, Perú.
- Ahmet, K., Dai, G., Jazayeri, S., Tomlin, R., Kaczmar, P. & Riddiough, S. (1999). Experimental procedures for determining the equilibrium moisture content for twenty timber species. *Forest Products Journal*, 49 (1): 88-93 p.
- Arostegui, A. (1982). Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas. Lima, Perú: UNALM.
- Arroyo, J. (1983). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- ASTM, American society for testing and material. (1998). Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials, D – 2395. (14 p). Estados Unidos.
- Bluhm, E., Rosende, R. & Kauman, W. G. (1965). Determinación de la humedad de equilibrio de la madera en todas las zonas climáticas de Chile, En Actas de la reunión sobre productos forestales. Santiago, Chile: Instituto Forestal. Informe Técnico 21: pp .136-143.
- Córdova, Z. M. (1997). Estadística descriptiva e inferencial. (pp. 450). Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Diaz-vaz, J. E., Knigge, W. & Echols, R. (1975). Comparación de variaciones de densidad de madera medida radiográficamente y fluctuaciones de la estructura anatómica dentro del incremento anual. *Bosque*, 1(1): 33-42.
- INDECOPI, Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual. (2004). Método para determinación del contenido de humedad. Norma NTP 251 010. Lima, Perú.
- INDECOPI, Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual. (2004). Método para determinar la densidad. Norma NTP 251 011. Lima, Perú.

- JUNAC, Junta del acuerdo de Cartagena. (1989). Manual del grupo andino para el secado de maderas. Primera edición. (pp. 52). Colombia: Editorial Carbajal S. A.
- Kollmann, F. P. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Traducción de la segunda edición Alemana. (pp. 675). Madrid, España: Ministerio de agricultura. Instituto forestal de investigaciones y experiencias y servicios de la madera.
- Kollmann, F. P. & Côté Jr, W. (1968). Principles of wood science and technology. Vol. I Solid wood. (pp. 592). New York, United States.
- Lluncor, M. D. (2013). Estudio de las propiedades físicas de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. (Informe técnico PD 512/08). Rev.2 (I). Perú: AIDER.
- Novoa, R. L. (2005). Manual de buenas prácticas de manufactura para el sacado natural y artificial, de madera aserrada, acorde a los estándares expresados en las normas. (Versión preliminar). Lima, Perú: Dirección nacional de desarrollo de comercio exterior – MINCETUR - BID.
- Pérez, P. N., Valenzuela, L., Díaz, V. J. y Ananías, R. (2011). Predicción del contenido 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.
- Rosales, E. (2002). Guía Básica Teórica y Práctica para Problemas de Propiedades Físicas de la Madera. (pp. 22). UNSAAC – Puerto Maldonado.
- SENAMHI, Servicio nacional de meteorología e hidrografía. (2013). Datos climáticos de los últimos 30 años para Lima, Huánuco y Puerto Maldonado. (pp. 6). Lima, Perú: Sede Central.
- Siau, J. (1984). Transport processes in wood. Chapter 1. (pp. 245). New York, United States: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Simpson, W. T. (1993). Specific gravity, moisture content, and density relationships for wood. United States: Department of Agriculture. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR76. Madison, WI: Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Smith, D. M. (1954). Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples. Rept. N° 2014, Madison, United States. Forest Products Laboratory.
- Tamarit, U. J. y Fuentes, S. M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, IX(2): 156-164.
- Valenzuela, L., Ramírez, M., Levancini, C. y Arévalo, A. (2004). Investigación exploratoria, variación radial de la densidad de la pared celular en la madera de *Pinus radiata* D. Don de 29 años de edad. II Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Wright, J. A. y Osorio, L. F. (1992). Variación de la densidad de la madera entre procedencias de *Pinus maximinoi* a los 14,5 años de edad en Colombia. (Investigación forestal). Cartón de Colombia. Informe de investigación No. 147. Cali, Colombia.