

**Caracterización de la densidad de madera de
balsa (*Ochroma pyramidale*) en dos zonas
edafoclimáticas de la costa ecuatoriana**

Maria Cristina Ortiz Padilla

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Caracterización de la densidad de madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) en dos zonas edafoclimáticas de la costa ecuatoriana

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Maria Cristina Ortiz Padilla

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Caracterización de la densidad de madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) en dos zonas edafoclimáticas de la costa ecuatoriana

Maria Cristina Ortiz Padilla

Resumen. La producción de balsa (*Ochroma pyramidale*) es una actividad de importancia económica en el litoral ecuatoriano en donde se produce el mayor porcentaje de madera de dicha especie a nivel mundial. El objetivo principal del estudio fue caracterizar la densidad aparente de la madera de balsa en dos zonas edafoclimáticas de la costa ecuatoriana e identificar los factores que pueden influir en la variación de la misma. Para el muestreo se seleccionaron tres sitios, dos ubicados en la zona seca y uno en la zona húmeda. En cada uno de ellos se muestrearon 10 individuos. Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ se encontraron diferencias en los niveles de precipitación entre la zona seca y la húmeda. Las mayores alturas se presentaron en la zona húmeda con un promedio de 22.85 metros, mientras que en la zona seca las menores alturas medidas mostraron un promedio de 20.77 metros. Se midió la densidad promedio a diferentes alturas del eje axial de los árboles y únicamente para el primer metro de longitud. El promedio en la densidad medida al primer metro de altura para la zona húmeda fue de 158.26 Kg/m³. En la zona seca se obtuvieron densidades promedio de 197.04 Kg/m³ en uno de los sitios y 146.53 Kg/m³ en el otro. Se encontró una variación significativa en la densidad de la madera de una zona a otra y entre sitios de la misma zona.

Palabras clave: Altura, densidad aparente, madera de balsa, precipitación.

Abstract. Balsa production (*Ochroma pyramidale*) is an important economic activity on the Ecuadorian littoral where the major percentage of balsa wood is produce worldwide. The main objective of the study was to characterize the basic density of balsa wood in two different edafoclimatic zones of the ecuadorian coast to identify the main factor that could affect the density variation between them. For sampling, tree sites where located, two of them on the dry zone and one on the wet zone. In each of the sites, 10 individuals where sampled. With a level of significance of $\alpha=0.05$ difference in precipitation was found between the dry and the wet zone. The major heights belong to the humid zone whit an average of 22.85 meters and for the dry zone was 20.77 meters. Density of wood at different heights of the axial axis of the trees and at the first meter in length were measure. The average density measured at the first meter of height for the wet zone was 158.26 Kg/m³. In the dry zone the average was 197.04 Kg/m³ for one site and for the other the average obtained was 146.53 Kg/m³. There was a significant variation in wood density from one site to another and between sites located in the same zone.

Key words: Apparent density, balsa wood, height, precipitation.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4. CONCLUSIONES	17
5. RECOMENDACIONES	18
6. LITERATURA CITADA	19
7. ANEXOS	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción estadística y diferencia de medias de precipitación (mm/año).....	9
2. Descripción y diferencia de medias en la temperatura (°C).....	9
3. Descripción de altura (m) de los árboles para cada hacienda.....	10
4. Descripción de la densidad promedio de todas las haciendas (Kg/m ³).....	13
5. Descripción densidad medida en el primer metro de altura.	14

Figuras	Página
1. Localización del sitio de estudio	4
2. Marcado y codificación de individuos.	5
3. Proceso de aserrado de trozas en listones.....	6
4. Tendencia de las precipitaciones (mm/año) para la zona seca y húmeda.	8
5. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB25.....	11
6. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB43.....	11
7. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB49.....	12
8. Densidad medida en el primer metro de altura (Kg/m ³).....	14

Anexos	Página
9. Calicatas para análisis físico de suelos.....	21
10. Trozas de 1 metro previo al proceso de aserrado	21
11. Listones acomodados en pallets previo a ingreso al horno	22
12. Material para pesado y medición de listón de madera	22
13. Análisis de varianza para datos de precipitación en cada hacienda (mm/año)....	22
14. Análisis de varianza para alturas (m) de todas las haciendas.....	22
15. Análisis de varianza para la densidad promedio (Kg/m ³)	23
16. Análisis de varianza para la densidad medida en el primer metro de altura	23

1. INTRODUCCIÓN

El árbol de balsa (*Ochroma pyramidale*) (Cav. ex Lam.) Urb. 1920 es conocido también como corcho (México), gantillo (Nicaragua), enea (Costa Rica) lana (Panamá) o tami (Bolivia). La balsa es un árbol que puede alcanzar los 30 metros de altura y un diámetro de hasta 200 centímetros. Perteneciente a la familia Bombacaceae es una especie que se encuentra distribuida naturalmente desde la región Mesoamericana hasta Bolivia y El Caribe. Una de sus principales características distintivas es su rápido crecimiento y la relativamente baja densidad de su madera (Howcroft, 2002).

Dentro de los requerimientos edafoclimáticos de la especie se encuentran: demanda de suelos bien drenados, no superficiales, de preferencia con textura franca, franco arenosa o franco limosa. Los suelos deben contar con alta disponibilidad de nutrientes y humedad. El clima ideal para su desarrollo se encuentra entre 0 y 1,000 metros de altura sobre el nivel del mar, una precipitación aproximada entre 1,500 y 3,000 mm y una temperatura de 22 a 33 grados centígrados. En condiciones de sitio distintas, el crecimiento en altura y diámetro de la plantación puede limitarse, afectando también la calidad de la madera que se produce (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2014).

Ecuador cuenta con la producción de madera de balsa más grande del mundo, seguido de Papua Nueva Guinea. El país suramericano sufre alrededor del 90% de la demanda mundial, Papua Nueva Guinea aporta un 8% junto a pequeñas contribuciones de productores en Colombia, Brasil, Venezuela, Costa Rica e Indonesia. Los principales mercados para productos elaborados con balsa se encuentran en Estados Unidos, China, India y Europa en donde es utilizado especialmente por el sector de energía eólica, la marina y la industria de transporte (Midgley, Blyth, Howcroft, Midgley y Brown, 2010).

La madera de balsa es de gran importancia comercial en el litoral ecuatoriano, donde se obtiene la mayor producción dentro del país. La densidad de su madera con fines comerciales usualmente va de los 100 kg/m³ a 170 Kg/m³, aunque dicha propiedad puede variar de 50 kg/m³ hasta 410 kg/m³, característica que le confiere el título de la madera más liviana utilizada en el mundo como material aislante y en la construcción de diferentes estructuras (Francis, 1991). Aunque existen otras maderas más ligeras, las mismas carecen de propiedades de fuerza y resistencia por lo que no se utilizan a nivel comercial (Fletcher, 1951).

Existen diferentes formas de definir la densidad de la madera, entre las que se menciona la densidad aparente, la cual toma en consideración el volumen y la masa de la madera incluyendo los espacios porosos que la forman. La densidad aparente se expresa como el cociente entre el peso y el volumen de la madera obtenidos con el mismo contenido de humedad de las muestras (Spavento *et al.*, 2008).

Cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus paredes y menor volumen de poros o vacíos. En el género *Ochroma*, el volumen de los poros puede ser superior al 90% y en maderas de roble es de aproximadamente el 50% de su volumen total (Nájera, 1944).

Según un estudio realizado en Papua Nueva Guinea sobre las propiedades mecánicas de la madera de balsa, la densidad de la misma se puede clasificar de acuerdo a tres categorías internacionales, ($80 \leq 120$, $120 \leq 180$ y $180 \leq 220$ kg/m³). Para la madera de balsa, las densidades entre 120 y 180 kg/m³ son de mayor interés comercial en el mercado actual. Los resultados indican que la madera de *Ochroma* con densidades alrededor de 150 kg/m³ tiene propiedades de fuerza y resistencia mayores, lo cual también es de interés para el comprador (Kotlarewski, Belleville, Gusamo, y Ozarska, 2016).

La mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera dependen de la densidad, en especial la fuerza y rigidez. La densidad es utilizada como un indicador de calidad y como parámetro para la elaboración de diferentes productos, es de suma importancia para la determinación del uso que se le dará a la misma (Young, 1991). La densidad de la madera tiene suma importancia en la determinación del uso, ya que afecta no solo la fuerza de la madera, sino también la producción de celulosa (Hocker, 1984).

A pesar de su baja densidad, es una madera con propiedades mecánicas que incluyen resistencia, capacidad de absorción de energía y elasticidad. Las características mencionadas anteriormente, la convierten en un material de interés para la construcción de estructuras sándwich utilizadas en la elaboración de aerogeneradores, barcos y aviones. (Borrega, Ahvenainen, Serimaa, y Gibson, 2015). Las estructuras tipo sándwich son estructuras constituidas por dos capas externas de un material resistente o con características deseadas que se separan por un material de relleno que por lo general es ligero y de baja densidad. La madera de balsa es utilizada como material núcleo para dichas estructuras debido a su baja densidad y elevada resistencia (Besednjak, 2005).

La densidad es una propiedad de la madera muy susceptible que puede variar entre individuos de la misma especie que se encuentren en diferentes localidades. Ha sido demostrado que dicha característica puede verse afectada tanto por el origen del material genético como por factores del medio ambiente a los que cada individuo se expone durante su crecimiento (Hocker, 1984). Los patrones de comportamiento de la densidad de la madera en relación a la altura y diámetro de los árboles también varían de acuerdo a factores genéticos y ambientales. Por lo anterior, es necesaria la disponibilidad de investigaciones que ayuden a entender qué factores influyen en la variación (Baker, 2000).

Los factores ambientales que influyen en el crecimiento de los árboles y, por ende, en su densidad, pueden ser de dos tipos: estables o transitorios. Los factores estables incluyen las propiedades de suelo, que por lo general no cambian a lo largo del ciclo de vida de una plantación. Por otra parte, los factores climáticos y la competencia entre individuos son considerados como transitorios, es decir que pueden variar durante las diferentes etapas de crecimiento de los árboles (Husch, Beers, y Kershaw, 2003).

La gran variación en la densidad de la madera de balsa se debe a diferentes condicionantes que son propias de la especie y algunas otras que involucran al ecosistema en el que habita. En algunos casos, la densidad depende del crecimiento del árbol, que tan alto ha llegado y la velocidad a la cual ha crecido. A medida que envejecen, los árboles de balsa disminuyen su velocidad de crecimiento, lo cual aumenta su densidad de manera lineal (Borrega, Ahenaimen, Serimaa, y Gibson, 2015).

En dicho contexto, es de vital importancia la disponibilidad de información que soporte la toma de decisiones relacionadas a la producción de madera de *Ochroma pyramidale*, generando mejoras que puedan verse reflejadas en términos económicos. La investigación de las propiedades físicas de la balsa puede ser de interés aplicativo para rubros como el transporte aéreo y marítimo y la energía eólica que utilizan la madera para elaboración de diferentes productos.

Actualmente, el área de estudios dedicada a la especie es liderada por empresas exportadoras de madera que buscan implementar planes de manejo y nuevas tecnologías que les permitan mejorar e incrementar su producción sosteniblemente. Asimismo, existen instituciones universitarias y entidades del gobierno interesados en la generación de datos e información que sea disponible para industrias y pequeños productores interesados en la producción de madera de balsa en diferentes zonas (Moncayo, 2017).

El presente estudio se enfoca en definir la relación entre la densidad de la madera de balsa y las condiciones edafoclimáticas de dos distintas zonas ubicadas en la Costa Ecuatoriana. Lo anterior con el fin de generar información que pueda contribuir a la selección de localidades con condiciones idóneas para plantaciones futuras. La selección de un sitio adecuado resultará en una mejora a los aspectos del manejo, rendimiento, calidad de madera y producción sostenible.

Los objetivos específicos planteados para el presente estudio incluyen:

- Identificar los principales factores que pueden influir en la variación de las propiedades de la madera.
- Determinar la densidad de la madera de balsa en individuos ubicados en dos zonas edafoclimáticas distintas.
- Establecer la relación entre la densidad de la madera y las condiciones edafoclimáticas para cada zona.

2. METODOLOGÍA

Localización del estudio.

La recolección de las muestras de madera y de suelo utilizadas en la presente investigación se realizó en tres haciendas patrimonio de la empresa Plantaciones de Balsa Plantabal, S.A. Los tres sitios seleccionados se encuentran ubicados en la Costa Ecuatoriana, en las provincias del Guayas, Los Ríos y Cotopaxi.

Sitios de muestreo.

Para el presente estudio se evaluaron tres haciendas cultivadas con balsa que se identifican como PB43, PB25 y PB49. De acuerdo a la clasificación utilizada por la empresa, las condiciones edafoclimáticas de los sitios son zona seca y zona húmeda. Los sitios identificados como PB25 y PB43 pertenecen a la zona seca y PB49 es considerada como zona húmeda. La hacienda PB43 está ubicada en el Cantón El Empalme en la Provincia del Guayas, PB25 en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos, PB 49 en el Cantón Guapara, que se encuentra en la Provincia de Cotopaxi (Figura 1).

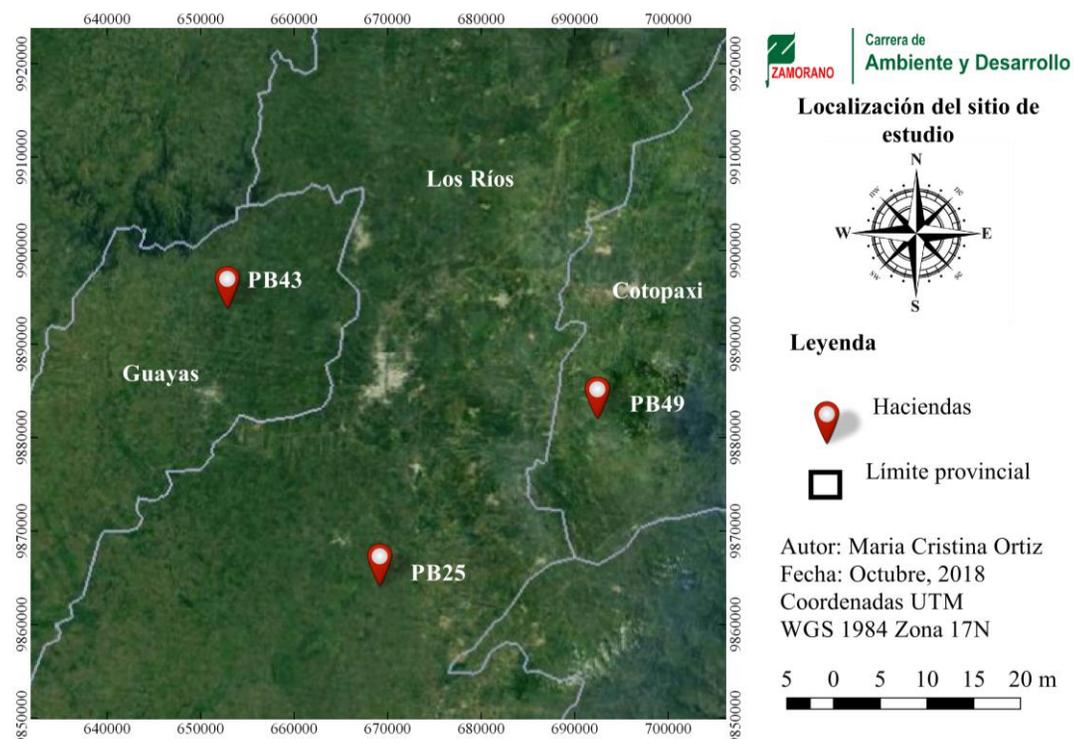


Figura 1. Localización del sitio de estudio

Cada hacienda se divide en lotes con balsa en diferentes etapas de crecimiento, se escogieron áreas con individuos de 3.5 años de edad para los tres casos. Otro criterio a tomar en cuenta fue la pendiente del terreno, se buscaron sitios planos y que no se encontraran al lado de ríos o carreteras. El área para la recolección de las muestras se delimitó a una hectárea de terreno para la selección de los individuos.

Recolección de muestras.

En cada uno de los sitios se seleccionaron 10 individuos sanos (sin enfermedades como “pata roja” o “corazón de agua”), rectos, con escasa presencia de nudos, representativos y tomando en cuenta una distancia aproximada de 15 metros hacia los bordes. Los árboles fueron marcados y codificados con números del 1 al 10. Después de apeados, se tomaron medidas de diámetro, altura total y altura comercial. La altura comercial es medida hasta que el tronco alcanza un diámetro de 12 centímetros, que es el mínimo permitido para ser procesado en el aserradero. Para la movilización, se cortaron los individuos en trozas, cada una fue identificada con un código para diferenciar a qué altura y a qué árbol corresponde (Figura 2).



Figura 2. Marcado y codificación de individuos.

Muestreo de suelo.

Las muestras de suelo fueron recolectadas dentro de cada sitio seleccionado para las diferentes haciendas. Se realizaron 4 barrenaciones en zigzag para una hectárea de terreno a 40 – 45 centímetros de profundidad. Se obtuvo una muestra compuesta para ser enviada al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias para el análisis químico de la misma. El análisis químico evaluó materia orgánica, pH, macro y micro nutrientes del suelo. Adicionalmente, se hizo una calicata de 1x1x1 metros en la parcela de muestreo para cada hacienda con el fin de evaluar propiedades físicas de los suelos. Las propiedades físicas incluyen textura, profundidad efectiva, estructura y presencia de rocas.

La metodología para el muestreo y la descripción de suelo fue obtenida del Manual de prácticas del Curso de Manejo de Suelo y Nutrición Vegetal (Gauggel, 2016).

Estimación de precipitación.

Para verificar y establecer una diferencia entre los niveles de precipitación en cada zona se utilizaron datos de 3 estaciones climatológicas automáticas propiedad del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (INAMHI), las cuales fueron ubicadas por medio del mapa de isoyetas del país y con relación a la cercanía con las haciendas evaluadas. Lo anterior, debido a la falta de estaciones propias dentro de las haciendas. La estación “La Capilla INAMHI” ubicada en la provincia de Los Ríos, la estación “Plan América Daule” ubicada en la provincia del Guayas, fueron consideradas dentro de la zona seca. La estación “San Juan La Maná” ubicada en la Provincia Cotopaxi, se consideró como referencia para la zona húmeda. Se tomaron en cuenta 15 años de datos históricos de precipitación en mm, abarcando el periodo de tiempo del año 2000 al 2015.

Procesamiento de las muestras.

Se tomaron muestras de madera de un metro de longitud en cada sección del eje axial de los árboles con el objetivo de analizar la variación de la densidad a diferentes alturas del tronco. Una vez ubicadas en la planta de procesamiento, cada troza fue aserrada aprovechando al máximo el área de su circunferencia para formar listones de aproximadamente 1 metro de largo y diferentes espesores según el diámetro de las trozas (Figura 3).

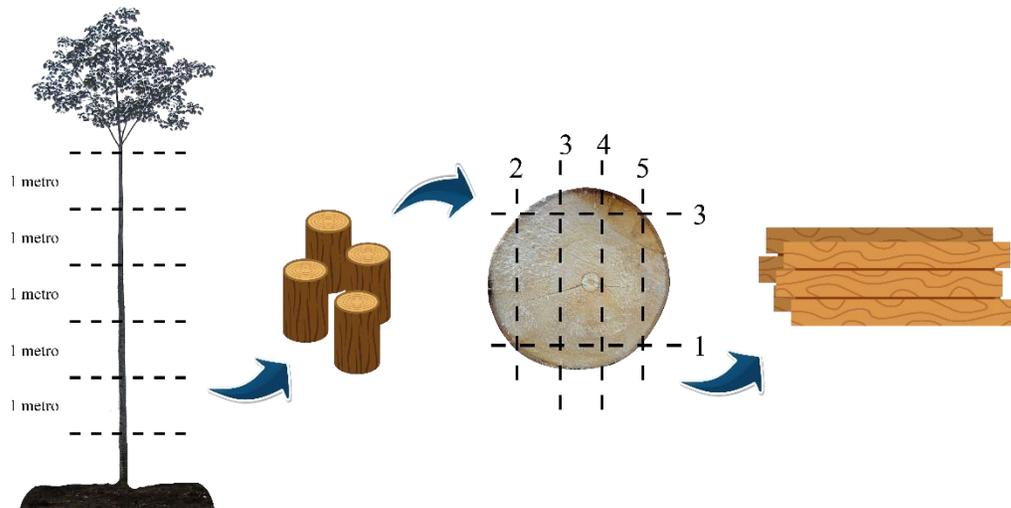


Figura 3. Proceso de aserrado de trozas en listones.

Las piezas fueron codificadas con el objetivo de no perder su trazabilidad. Se acomodaron en pallets para ingresar al proceso de secado en horno dentro del cual permanecieron de 7 a 9 días hasta alcanzar un promedio de 12% de humedad interna (Figura 4). La humedad de

la madera se midió con conductímetro marca Delmhorst modelo DB-2100 a 3 centímetros de profundidad de las piezas. Con el fin de eliminar imperfecciones y formar piezas rectangulares para su medición, los listones se cantearon, pulieron y despuntaron.

Para el cálculo del volumen de las piezas individuales de madera aserrada se utilizaron las medidas en centímetros de largo, ancho y grosor. Las medidas fueron tomadas en tres puntos, es decir, en los bordes y en el centro de cada listón, las mismas fueron promediadas para la obtención del volumen. Por último, las piezas fueron pesadas en gramos por medio de una balanza digital para calcular la densidad de la madera por medio de la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [1]$$

Donde:

ρ = densidad

m = masa

V = longitud*ancho*grosor

El procedimiento se repitió para el cálculo de la densidad de cada listón obtenido de las diferentes secciones del tronco. Lo anterior con el fin de determinar la densidad a cada metro de altura del eje axial de los árboles. Para estimar la densidad de cada individuo se promediaron las densidades calculadas anteriormente a las diferentes alturas.

Análisis estadístico.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el componente Real Statistics 2010 del programa Excel 2016. Se tomó en cuenta una significancia (α) de 0.05 para las respectivas pruebas estadísticas. Los análisis realizados incluyen pruebas de normalidad Shapiro Wilk, y ANDEVA para los datos de precipitación, altura y densidad medidos para cada una de las haciendas. Posteriormente se utilizaron pruebas de contrastes para determinar la diferencia de medias entre los datos de cada sitio. Las pruebas mencionadas se aplicaron para la densidad promedio de los árboles y únicamente para la densidad medida al primer metro de altura de los individuos. Un análisis de correlación fue establecido para determinar el comportamiento de la densidad a las diferentes alturas del tronco.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferencias de precipitación entre zona seca y húmeda.

Para establecer una diferencia en las condiciones climáticas de las haciendas, se utilizaron datos de precipitaciones anuales medidas en mm para un total de 15 años, tomando en cuenta el periodo de tiempo 2000 – 2015. Las haciendas PB25 y PB43 ubicadas en la zona seca presentan patrones de comportamiento similares en el tiempo, a diferencia de PB49 la cual se considera parte de la zona húmeda con mayores precipitaciones medidas (Figura 6).

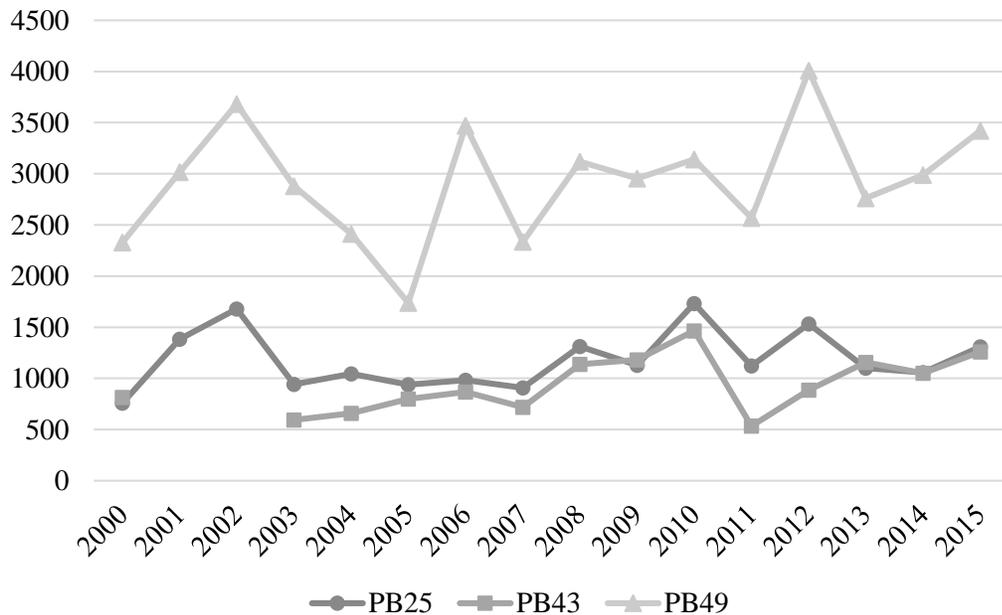


Figura 4. Tendencia de las precipitaciones (mm/año) para la zona seca y húmeda. Elaboración propia.

Se realizó una prueba de normalidad para los datos de precipitación con un valor $\alpha=0.05$ y un análisis de varianza para establecer una diferencia entre los niveles de precipitación. Se establece que los datos tienen una distribución normal con valores de $P > 0.05$. Para la prueba ANDEVA, con una significancia menor a $p = 0.01$ se establece que existe una diferencia significativa entre las precipitaciones de las diferentes haciendas. Las haciendas ubicadas en la zona seca tienen precipitaciones promedio entre los 900 y 1,200 mm al año, mientras que la zona húmeda presenta una media en la precipitación anual de 2,927 mm.

Por medio de una prueba de contrastes con un valor $P = 0.10$, se determinó que no existe una diferencia en los niveles de precipitación anual para las haciendas PB25 y PB43, ambas ubicadas en la zona seca. Por el contrario, con una significancia menor a $P=0.01$ se encontró una diferencia en los niveles de precipitación entre las dos haciendas anteriormente mencionadas y la hacienda PB49 que es considerada una zona húmeda (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción estadística y diferencia de medias de precipitación (mm/año).

Hacienda	Precipitación (mm/año)	Mínimo	Máximo
PB25	1183 \pm 283 ^a	978	1388
PB43	937 \pm 276 ^a	718	1156
PB49	2926 \pm 572 ^b	2721	3131

^{ab} Diferentes letras indican diferencia de medias con una significancia < 0.05

Según Louppe, Oteng-Amoako, y Brink, M. (2008), *Ochroma pyramidale* tiene un mejor comportamiento y desarrollo en áreas con precipitaciones anuales entre los 1,250 y 3,000 mm. En condiciones distintas, su crecimiento se ve limitado y las propiedades de su madera pueden variar. De las tres haciendas evaluadas, únicamente PB49 cumple con los niveles de precipitación requeridos para la especie, influyendo en las características de crecimiento y comportamiento de los individuos en las diferentes zonas. Aunque lo anterior no puede ser considerado como un factor determinante en la selección de mejores sitios para plantaciones de balsa, debe ser tomado en cuenta por tener una influencia en el crecimiento de la especie y por ende en el rendimiento del volumen de madera que se pueda obtener.

Diferencias de temperatura entre haciendas.

Para comparar la temperatura entre haciendas se utilizaron datos promedio mensuales de cada sitio. Las mayores temperaturas se encontraron en la zona seca y las menores temperaturas en la zona considerada como húmeda. Por medio de una prueba ANOVA, se encontró una diferencia significativa entre los tres sitios con un valor $p < 0.01$ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción y diferencia de medias en la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Hacienda	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Mínimo	Máximo
PB25	24.7 \pm 0.4 ^a	24.0	25.5
PB43	25.5 \pm 0.2 ^b	25.3	26.0
PB49	20.0 \pm 0.2 ^c	19.7	20.6

^{abc} Diferentes letras indican diferencia de medias con una significancia < 0.05

Según el MAGAP (2014), el rango óptimo de temperatura para el cultivo de la balsa es de los 22 a los 33 grados centígrados. De las tres haciendas muestreadas únicamente la hacienda PB49 no figura dentro de dicho rango.

Comparación altura total.

Se analizaron los datos de altura total medida en campo para los individuos muestreados. Se estableció la normalidad de los datos y por medio de una prueba ANDEVA con un valor $p=0.002018$, se encontró que existe una diferencia significativa entre las alturas de los árboles dependiendo de la zona a la que pertenecen. Las mayores alturas obtenidas corresponden a la zona húmeda, mientras que en la zona seca los árboles presentan longitudes menores. La diferencia entre las alturas para cada hacienda puede verse influenciada por los factores climatológicos y edáficos de cada zona debido a los requerimientos de la especie.

Con la aplicación de una prueba de contrastes se compararon las alturas medidas para las diferentes haciendas. Con una significancia de $P = 0.089442$ no existe una diferencia para las alturas medidas en las haciendas pertenecientes a la zona seca. Lo anterior puede deberse a que las diferencias entre niveles de precipitación no son significativas para los dos sitios. La comparación de las haciendas mencionadas con PB49 tuvo como resultado un valor $P = 0.00141$, lo cual indica que existe una diferencia entre las alturas de los individuos de la zona seca en comparación a los de la zona húmeda (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de altura (m) de los árboles para cada hacienda.

Hacienda	Densidad (Kg/m³)	Máximo	Mínimo
PB25	20.7 ± 1.2^a	23.0	18.9
PB43	1.6 ± 1.0^a	23.0	19.7
PB49	22.8 ± 1.2^b	25.3	21.0

^{ab} Diferentes letras indican diferencia de medias con una significancia < 0.05

Densidad de la madera a diferentes alturas del árbol.

Con los datos obtenidos se graficó la curva del comportamiento de la densidad con relación a la altura de los individuos para cada una de las haciendas muestreadas. En las figuras se presenta la ecuación que mejor se adapta al modelo y el coeficiente de relación correspondiente (Figuras 5, 6 y 7). Los valores para R^2 obtenidos son relativamente bajos, indicando que la relación entre ambas variables puede verse influenciada por otros factores además de la altura.

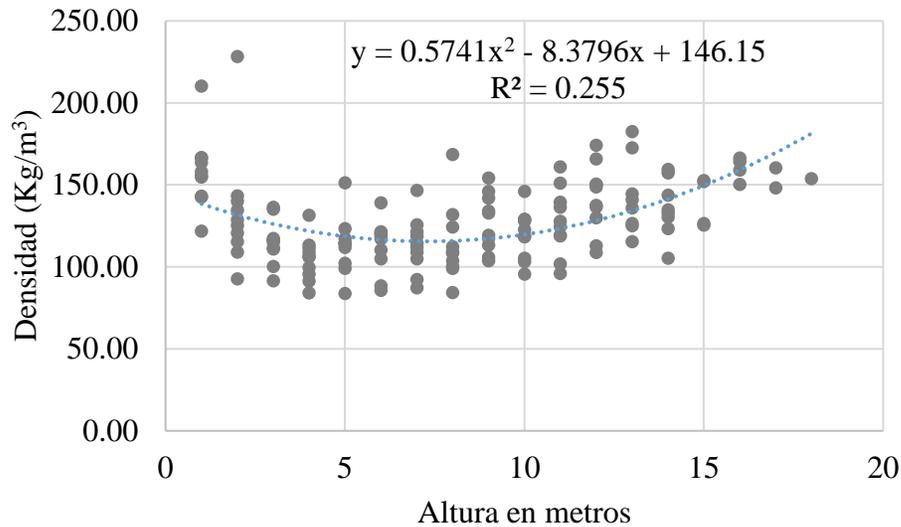


Figura 5. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB25. Elaboración propia.

En las curvas de relación entre densidad y altura mostradas, la densidad se comporta de manera cuadrática a las diferentes alturas del árbol. En los primeros metros se observan altos valores de densidad de la madera, en la parte media del árbol, disminuye dicha propiedad y, a medida que incrementa la altura, la densidad tiende nuevamente a elevarse. Como se puede observar en la curva, a mayor altura, la densidad tiende a aumentar. Lo anterior, es evidencia de que, para los individuos más altos, la densidad promedio será mayor.

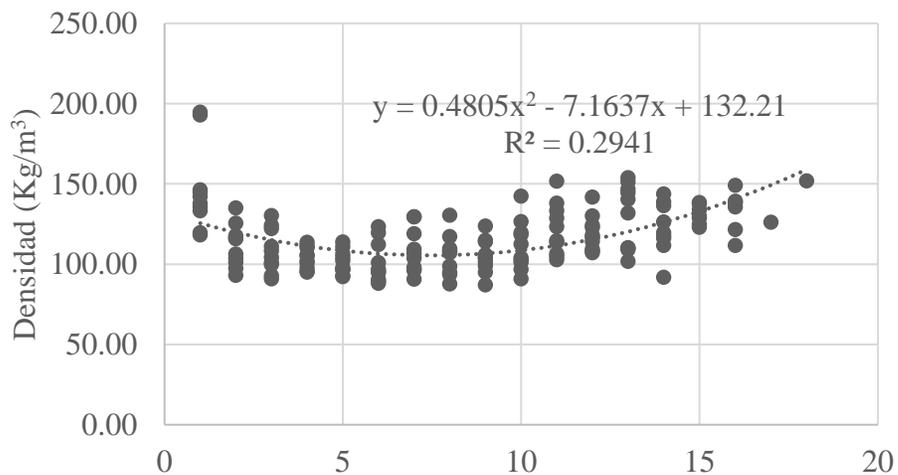


Figura 6. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB43. Elaboración propia.

Diferentes especies forestales tienen patrones característicos en cuanto a la variación de la densidad en relación a la altura. De acuerdo a investigaciones realizadas se ha demostrado que, en especies de rápido crecimiento, la densidad aumenta linealmente a medida que aumenta el diámetro del árbol y disminuye conforme incrementa la altura. Es decir que, a mayor altura, se obtiene madera de menor densidad. Sin embargo, para algunas especies como *Ochroma pyramidale* se han reportado comportamientos diferentes de manera que, una vez que el árbol crece hasta cierto punto, la densidad aumenta drásticamente en vez de continuar disminuyendo (Baker, 2000).

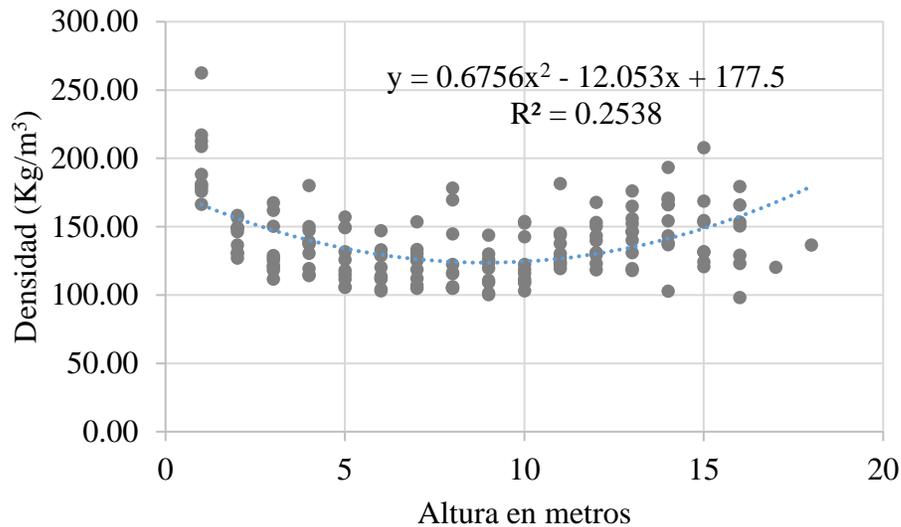


Figura 7. Relación entre altura y densidad para la hacienda PB49. Elaboración propia.

Lo anterior puede deberse a que en la base del árbol se encuentran las raíces y el sustento del fuste, haciendo que la densidad sea mayor en ese punto. En el caso de la parte más alta de los individuos, dicha característica tiende a aumentar por la necesidad de sostener todo el peso de las ramas y hojas que forman la copa del árbol.

Densidad promedio por árbol.

La media de la densidad para los individuos se obtuvo promediando las densidades medidas a cada metro de altura. Se aplicó una prueba Shapiro Wilk para comprobar la normalidad en la distribución de los datos de densidad promedio de la madera en los individuos muestreados, la cual dio como resultado que todos los datos se comportan de forma normal.

El análisis descriptivo muestra que los mayores promedios en la densidad de la madera se presentan en la hacienda PB49 perteneciente a la zona húmeda y la menor densidad en PB43 seguida de PB25, ambas en la zona seca. Por medio de una prueba ANDEVA se determinó que existe una diferencia entre la densidad de madera proveniente de las haciendas muestreadas ($P= 0.00032$).

Lo anterior puede significar que algunas propiedades de la madera de balsa, como la densidad, varía de acuerdo al sitio en el que se desarrolle la planta y las condiciones a las que se exponga durante su crecimiento. El análisis de contrastes para la prueba de medias demostró que existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las tres haciendas en cuanto a los niveles de densidad promedio de la madera (Cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de la densidad promedio de todas las haciendas (Kg/m^3)

Hacienda	Densidad (Kg/m^3)	Mínimo	Máximo
PB25	126.3 ± 14.24^a	119.3	133.4
PB43	115.5 ± 7.33^b	108.4	122.5
PB49	138.2 ± 9.77^c	131.2	145.2

^{abc} Diferentes letras indican diferencia de medias con una significancia < 0.05

De acuerdo a literatura consultada, las propiedades de la madera se ven influenciadas por diferentes factores ambientales y genéticos. Algunas causas asociadas con densidades altas de la madera son el tamaño del árbol y las condiciones de clima y suelo en el sitio o micro sitio, principalmente. Las condiciones inadecuadas en el desarrollo de balsa tienen como consecuencia el crecimiento lento de los individuos resultando en mayores densidades de la madera (Francis, 1991).

Contrario a estudios encontrados en otras especies maderables (Espina, 2006), en el presente análisis, las mayores densidades pertenecen a la zona húmeda y no a la zona seca. Lo anterior puede atribuirse a que los árboles muestreados en dichos estudios miden la densidad a una misma altura del eje axial de los individuos. Como se observó en los resultados anteriores, las mayores alturas medidas pertenecen a la hacienda PB49 en la zona húmeda, por lo que, la longitud de los individuos se considera un factor que influye en la densidad promedio de los árboles. En el análisis de la densidad a diferentes alturas se muestra que, en los últimos metros de longitud del fuste, la densidad de la madera aumenta, incrementando también la densidad promedio. Por ende, la densidad promedio no puede ser utilizada como referente para determinar en qué sitio se dan las mayores y menores densidades aparentes.

Densidad aparente en el primer metro.

Anteriormente se mostró que el comportamiento de la densidad a lo largo del eje axial del árbol tiende al aumento a partir de cierta altura. Con el objetivo de evitar que la diferencia en la longitud de los individuos represente un sesgo en cuanto a la variación de la densidad de la madera, se realizó un análisis considerando la densidad a la misma altura para todos los individuos muestreados. Se realizaron análisis descriptivos para la densidad al primer metro de altura de los árboles pertenecientes a las diferentes haciendas. A diferencia de las medias de la densidad promedio obtenidas, los resultados medidos únicamente para el primer metro de altura presentan la mayor densidad en la hacienda PB25 ubicada en la zona seca, en orden descendente le sigue PB49 y PB43 con densidades clasificadas como medias (Cuadro 5).

A través de un análisis de varianza se estableció que existe una diferencia significativa en cuanto a las densidades obtenidas para cada hacienda ($P=0.000504$). Posteriormente se realizó un análisis de contrastes para prueba de medias por medio del cual se encontró que la hacienda PB25 presenta diferencias significativas al compararse con PB43 y PB49. Sin embargo, con una significancia de $P = 0.325$, no existe una diferencia entre los dos últimos sitios mencionados. La hacienda PB25 presenta las mayores densidades medidas al primer metro de altura, mientras que los otros dos sitios muestran menores densidades de la madera.

Cuadro 5. Descripción densidad medida en el primer metro de altura.

Haciendas	Densidad (Kg/m^3)	Mínimo	Máximo
PB25	197.04 ± 28.74^a	180.0523	214.0305
PB43	146.53 ± 26.64^b	129.5445	163.5228
PB49	158.26 ± 22.82^b	141.2754	175.2536

El diagrama de cajas muestra de manera gráfica el comportamiento de la densidad de la madera para las diferentes haciendas. En la hacienda PB25 se encontraron las mayores densidades medidas al primer metro de altura, mientras que los otros dos sitios muestran menores densidades de la madera (Figura 8).

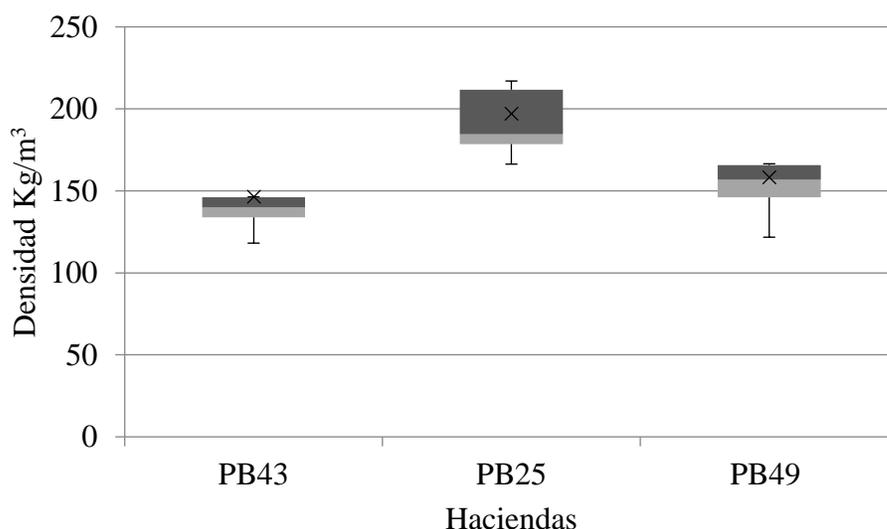


Figura 8. Densidad medida en el primer metro de altura (Kg/m^3)

La densidad de la madera difiere entre especies, edades, condiciones del sitio de crecimiento e incluso varía a diferentes alturas dentro de un mismo árbol (Forest Products Laboratory, 2010). Además de la precipitación, existen factores edáficos que pueden ocasionar cambios en las propiedades de la madera de balsa. Según su ecología, la especie se desarrolla de

preferencia en suelos aluviales, profundos y con buen drenaje. En sitios inferiores, el crecimiento se ve retrasado y se produce madera con densidades altas que no es de interés comercial ($> 160 \text{ kg/m}^3$) (Louppe, Oteng-Amoaki y Brink, 2008).

Las diferentes especies de árboles difieren en cuanto a su comportamiento y necesidades nutricionales. Las de rápido crecimiento por lo general tienen requerimientos nutricionales más elevados que las de crecimiento lento. En las especies de crecimiento rápido como la balsa, la cantidad de nutrimentos que se extraen en el producto cosechado, que es la madera, son mayores que en especies que tardan más en crecer (Alvarado, 2012).

Para el análisis de suelos realizados en las tres haciendas, no se encontraron diferencias relevantes entre los niveles nutricionales ni en la textura. Además, no se cuenta con las curvas de absorción de nutrientes para la especie, por lo que no es posible identificar que nutrientes pueden influir en su desarrollo. Como parte del análisis físico, la variable de profundidad efectiva evaluada por medio de las calicatas, si cambia notablemente de un sitio a otro. Para la hacienda PB 49 la profundidad llega hasta 82 centímetros, en PB 43 es de 90 centímetros y para PB25 únicamente es de 50 centímetros.

Dentro de los sitios contemplados para el estudio, PB25 presentó las menores alturas, con un promedio de 20.77 metros. Además, posee las mayores densidades de la madera medidas al primer metro de altura con un promedio de 197.04 Kg/m^3 la cual sobre pasa el valor establecido para madera de balsa de interés comercial. La alta densidad y baja altura presentada pueden deberse a que las condiciones del sitio no son las adecuadas para el crecimiento de la balsa, la hacienda PB25 no cumple con los requerimientos de precipitación y presenta una profundidad efectiva de aproximadamente 50 centímetros. Según Midgley, et al. (2010) la profundidad efectiva del suelo puede ser considerada como una limitante para el pleno desarrollo de plantaciones de balsa en los sitios evaluados, lo cual puede evidenciarse por medio de las alturas totales medidas. De acuerdo a lo encontrado en revisión de literatura, se establece que la balsa demanda suelos bien drenados por su sensibilidad a inundaciones. La especie se comporta mejor en sitios con suelos arcillo-limosos y aluviales ubicados en las cercanías a ríos. En el caso de las haciendas PB43 y PB49, como se mencionó anteriormente la densidad no varía significativamente por lo cual es necesario el análisis de otros factores que pueden influir en los resultados de la densidad de la madera para esos sitios.

Es importante mencionar que, aunque la hacienda PB43 tampoco cumple con los niveles de precipitación adecuados para la especie, presenta una densidad promedio medida al primer metro de longitud de 146.53 Kg/m^3 , la cual es menor en comparación a los otros dos sitios contemplados. Lo anterior indica que además de la precipitación, otros factores influyen significativamente en la variación de la densidad de la madera. En el caso de la profundidad efectiva para PB43, es la mayor de los tres sitios muestreados con aproximadamente 90 cm. La hacienda PB49 presentó una densidad de la madera medida al primer metro de longitud de 158.26 Kg/m^3 en promedio. El sitio cumple con los niveles de precipitación adecuados y posee una profundidad efectiva considerable para el desarrollo de plantaciones de balsa.

Relación entre densidad y precipitación.

Con el fin de encontrar de qué manera la precipitación tiene una influencia en la densidad de la madera, se procedió al análisis de la relación entre la densidad de la madera medida al primer metro de longitud y los niveles de precipitación correspondientes a las diferentes haciendas muestreadas. De acuerdo a los datos obtenidos, se observa que la densidad de la madera varía con respecto a los diferentes niveles de precipitación para cada sitio, sin embargo, en el presente estudio no fue posible establecer en qué proporción una variable influye en la otra. Lo anterior no significa que la relación entre ellas no exista, pero en el presente caso la muestra no es lo suficientemente grande para establecer una correlación entre las mismas. Además, la variable precipitación no es la única que influye en el comportamiento de la densidad de la madera, por lo tanto, se deben tomar en cuenta otras condiciones de los sitios en donde crecieron y se desarrollaron los individuos muestreados.

4. CONCLUSIONES

- La precipitación y la profundidad efectiva del suelo son factores edafoclimáticos importantes que influyen en el crecimiento de los individuos y por ende en el comportamiento de la densidad. En los sitios con menores precipitaciones y profundidad efectiva limitada se encuentran los menores crecimientos y mayores densidades de la madera.
- Se identificó una variación en el comportamiento de la densidad de la madera de balsa de una zona edafoclimática a otra, entre sitios de la misma zona y a lo largo del eje axial de los árboles.
- Aunque existe una diferencia en la densidad de la madera de balsa de acuerdo a los sitios de procedencia, en el presente estudio no fue posible determinar en qué proporción las características edafoclimáticas de los sitios influyen en la variación de la densidad de la madera.

5. RECOMENDACIONES

- Instalar estaciones climatológicas automáticas propias de la empresa para las diferentes zonas en las que se tienen haciendas sembradas con balsa y que son parte del patrimonio de la misma para poder monitorear el comportamiento de la precipitación y otros factores como temperatura y humedad relativa.
- Llevar a cabo un proyecto para el levantamiento de suelos de las plantaciones para la formar una base de información que ayude a la toma de decisiones y selección de sitios adecuados para plantaciones de balsa.
- Continuar con estudios relacionados a la variación de la densidad de la madera, en sitios con diferentes características edafoclimáticas y tomando en cuenta otros factores como la genética de la especie.
- Es necesario aumentar el número de muestreos para determinar la relación entre la densidad y las condiciones edafoclimáticas para cada zona. Con un tamaño de muestra como el empleado en el presente estudio no es posible establecer una correlación significativa entre las variables de interés.

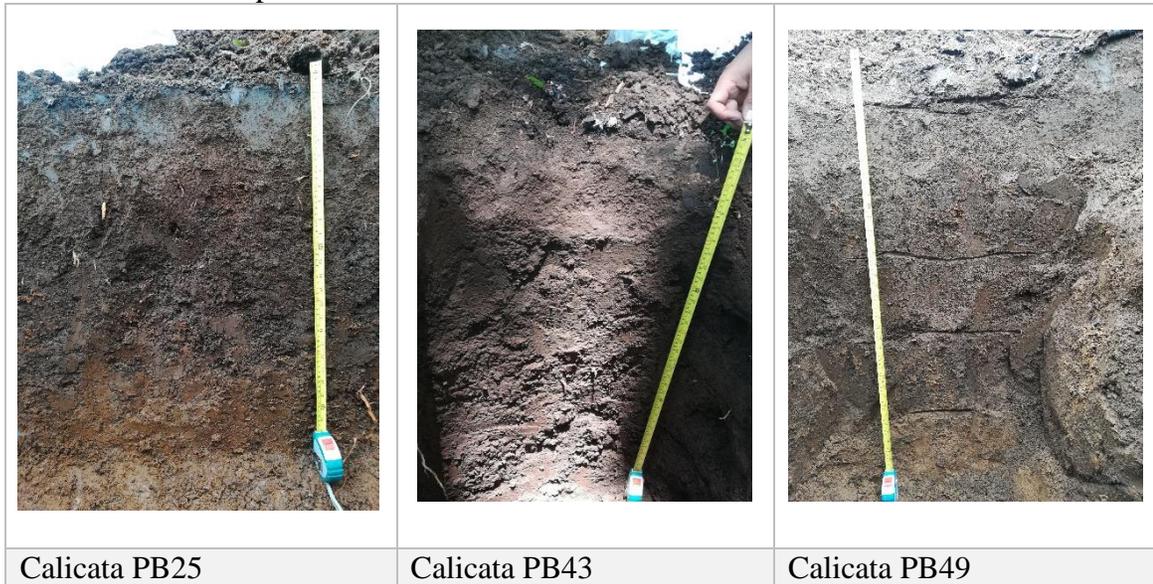
6. LITERATURA CITADA

- Alvarado, A. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Costa Rica : Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Arévalo, G., y Gauggel, C. (2016). *Manual de Prácticas de Laboratorio del Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal*. Tegucigalpa: Escuela Agrícola Panamericana.
- Baker, D. C. (2000). *Wood density patterns of young Costa Rican trees in planted and natural forests*. Obtenido de Oregon State University: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/zg64tq21b>.
- Besednjak, A. (2005). *Materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Borrega, M., Ahvenainen, P., Serimaa, R., & Gibson, L. (2015). *Composition and structure of balsa (Ochroma pyramidale) wood*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00226-015-0700-5>
- Espina, A. (2006). *Densidad básica de la madera de Eucalyptus globulus en dos sitios en Chile*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fife.77d/doc/fife.77d.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2003). *Policies and progresses of forestry a paper presented during the XII world forestry congress in Quebec City, Canada* . Obtenido de FAO: http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/1016-C2.HTM#P14_154
- Fletcher, M. (1951). Balsa Production and Utilization. *Economic Botany*, 107-125.
- Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook*. Wisconsin: Department of Agriculture and forest service.
- Francis, J. K. (1991). *Ochroma pyramidale Cav. Balsa* . Recuperado el 25 de Mayo de 2018, de RNGR: <https://rngr.net/publications/arboles-de-puerto-rico/ochroma-pyramidale/>
- Hocker, H. W. (1984). *Introducción a la Biología Forestal*. México: AGT Editor.

- Howcroft, N. (2002). *The Balsa manual*. Recuperado el 25 de Mayo de 2018, de International Tropical Timber Organization: [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD%207%2099/pd7-99%20rev2\(F\)%20e.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD%207%2099/pd7-99%20rev2(F)%20e.pdf)
- Husch, B., Beers, T., & Kershaw, J. (2003). *Forest Mensuration*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kotlarewski, N., Belleville, B., Gusamo, B., y Ozarska, B. (2016). Mechanical properties of Papua New Guinea balsa wood . *European Journal of wood and wood products*, 8389.
- Louppe, D., Oteng-Amoako, A. y Brink, M. (2008). *Plant Resources of Tropical Africa*. Obtenido de International Tropic Timber Organization: https://books.google.hn/books?id=-nw-mZQ0kcEC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=Louppe,+D.,+OtengAmoako,+A.A.+%26+Brink,+M.&source=bl&ots=NQhekQ9jUE&sig=l_c4FlMidZ_p9BBm69fPWfSrE&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwj7xP713JTcAhXJzlkKHdutANsQ6AEIRzAE#v=onepage&q=Louppe%2C%20D.%2
- Midgley, S., Blyth, M., Howcroft, N., Midgley, D., y Brown, A. (2010). *Balsa: biology, production and economics in Papua New Guinea* . Obtenido de National Library of Australia: <https://trove.nla.gov.au/work/37558627>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (Marzo de 2014). *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales*. Obtenido de Ecuador Forestal: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>
- Moncayo, G. (2017). *Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (Ochroma Pyramidale) ecuatoriana*. Obtenido de Universidad de Las Fuerzas Armadas:<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/63/browse?value=Moncayo+Gal%C3%A1rraga%2C+Germ%C3%A1n+Andr%C3%A9s&type=author>
- Nájera, F. (1944). *La evolución de la técnica en el empleo y aplicaciones de la madera de contrucción*. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.
- Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). *Propiedades físicas de la madera*. Obtenido de Universidad Nacional de La Plata: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1689/mod_resource/content/0/Propiedades_Fisicas_2008.pdf
- Wadsworth, F. H. (2000). *Producción Forestal para América Tropical*. Washington, DC.: Departamento de Agricultura de los EE.UU.
- Young, R. A. (1991). *Introducción a las Ciencias Forestales*. México: Editorial Limusa .

7. ANEXOS

Anexo 1. Calicatas para análisis físico de suelos



Anexo 2. Trozas de 1 metro previo al proceso de aserrado.



Anexo 3. Listones acomodados en pallets previo a ingreso al horno.



Anexo 4. Material para pesado y medición de listón de madera.



Anexo 5. Análisis de varianza para datos de precipitación en cada hacienda (mm/año)

Concepto	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	36469036	2	18234518	110.3084	1.17125E-17
Intra grupos	7108111	43	165304.9		
Total	43577147	45	968381		

Anexo 6. Análisis de varianza para alturas (m) de todas las haciendas.

Concepto	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	21.720	2	10.860	7.878453	0.002018
Intra grupos	37.218	27	1.378		
Total	58.938	29	2.032		

Anexo 7. Análisis de varianza para la densidad promedio (Kg/m³).

Concepto	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	2585.71	2	1292.85	11.00	0.00032
Intra grupos	3172.39	27	117.49		
Total	5758.10	29	198.55		

Anexo 8. Análisis de varianza para la densidad medida en el primer metro de altura.

Concepto	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	13974.31	2	6987.15	10.19	0.000504
Intra grupos	18510.68	27	685.58		
Total	32484.99	29	1120.17		