

Biomasa aérea almacenada en *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, Colombia

Aerial biomass stored in *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* in the locality of Puente Aranda, Bogota, Colombia

Biomassa acima do solo armazenada em soatensis e Ficus soatensis and Tecoma stans na localidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia

Jeniffer Paola Gracia Rojas¹ & Edgard Ernesto Cantillo Higuera²

¹Administradora Ambiental, Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental.

²Ingeniero Forestal, Especialista en Gerencia de Recursos Naturales, Magíster en Biología, Doctor en Ciencias Biología.

¹Administración Ambiental y de los Recursos Naturales. Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias y Tecnologías. ² Proyecto curricular de Ingeniería Forestal. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.^{1,2}Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Avenida Circunvalar Venado de Oro, Bogotá. Colombia.

¹jeniffergracia@ustadistancia.edu.co, ²ecantillo@udistrital.edu.co

Resumen

En Colombia son pocos los estudios realizados de biomasa aérea forestal. Esta investigación tuvo la finalidad de conocer la cantidad de biomasa aérea almacenada en las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans*, en la localidad de Puente Aranda, de la ciudad de Bogotá, Colombia, a partir de mediciones de Diámetro a la altura del pecho (DAP), altura y peso específico de la madera para estimar la biomasa mediante el uso de varios modelos utilizados de ecuaciones alométricas. A partir de la información obtenida, se desarrolló un modelo alométrico como propuesta de esta investigación para estimar la biomasa en especies forestales de uso urbano. La biomasa estimada total de las dos especies en la localidad varió entre 233,56 y 254,83 kg ha⁻¹; fue menor en *T. stans*, en la cual osciló entre 27,3 y 31,76 kg ha⁻¹, y mayor en *F. soatensis* con valores entre 183,38 y 245,95 kg ha⁻¹. Con estos resultados se concluye que la cantidad de biomasa, y por tan-

to, de carbono almacenado por estas dos especies es muy baja, infiriendo que estas especies no son grandes almacenadoras de carbono debido a su porte medio y su lento crecimiento.

Palabras clave: dasometría, modelos alométricos, cambio climático.

Abstract

In Colombia there are few studies of forestry aerial biomass. In order to know the amount of biomass stored in *Ficus soatensis* and *Tecoma stans* in the locality of Puente Aranda forestry aerial biomass Bogotá, Colombia, DAP, specific height and weight of the timber were measured to estimate the quantity of wood biomass using allometric equations mentioned in literature. From the information obtained, an allometric model to estimate urban use biomass plantations was developed. The total estimated

biomass of the two species in the locality with 95% confidence varied between 233.56 and 254.83 kg ha⁻¹, it was lower in *T. stans*, which ranged between 27.3 and 31.76 kg ha⁻¹ and higher in *F. soatensis* which ranged between 183.38 and 245.95 kg ha⁻¹. It is concluded that the amount of biomass and therefore carbon stored in these two species is very low, since they are not carbon reservoirs because of their middle size and slow growing.

Keywords: mensuration, allometric models, climate change.

Resumen

Na Colômbia existem poucos estudos de biomassa aérea florestal. Esta pesquisa foi destinada a determinar a quantidade de biomassa aérea armazenada nas espécies *Ficus* e *Tecoma stans*, na cidade de Puente Aranda, Bogotá, Colômbia, a partir de me-

dições de diâmetro à altura do peito (DAP), altura e peso específico da madeira para estimar a biomassa usando vários modelos utilizados, equações alométricas. A partir das informações obtidas, foi desenvolvido um modelo alométrico como proposta desta pesquisa, para estimar a biomassa florestal de espécies no uso urbano. A biomassa total estimada nas duas espécies na cidade variou entre 233,56 e 254,83 kg ha⁻¹; foi menor em *T. stans*, que variou entre 27,3 e 31,76 kg ha⁻¹, e maior em *F. soatensis* com valores entre 183.38 e 245.95 kg ha⁻¹. Com estes resultados, conclui-se que a quantidade de biomassa, e por tanto, o carbono armazenado por estas duas espécies é muito baixa, o que implica que estas espécies não são grandes armazenamentos de carbono por causa de seu médio porte, e crescimento lento.

Palavras-chave: mensuração, modelos alométricos, alterações climáticas.

Introducción

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC (1996), la medición de la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) en la atmósfera es uno de los métodos que demuestra la relación directa que existe entre este compuesto y el aumento de temperatura del planeta; los resultados de estas mediciones, determinan una concentración en la atmósfera de cuatro toneladas de CO₂ per cápita en promedio y un aumento de la temperatura de cerca de 0,74°C con relación a la temperatura del siglo XIX (Modi, 2005). Además, el aumento de temperatura en la tierra está causando una serie de hechos que afectan la economía, los hábitos de las sociedades y generan cambios en el equilibrio de los ecosistemas (Gore, 2007). La concentración de CO₂ actualmente es superior a 380 partes por millón (Duarte *et al.*, 2006).

Colombia no es ajena a esta realidad; justamente en el país se emite CO₂ a la atmósfera aportado principalmente por las actividades industriales, el

parque automotor, el sector agropecuario, entre otros. En Bogotá su capital, según lo expresado por la Secretaria Distrital de Ambiente (2011), la emisión de CO₂ por habitante por año, equivale a 1.89 t, que totalizan 13.498.244.31 t año⁻¹ de CO₂eqGEI. El CO₂eqGEI es una unidad de referencia para comparar las emisiones de GEI, teniendo en cuenta que una emisión de CO₂eq, es la cantidad de emisión de CO₂ durante un horizonte de tiempo dado, el mismo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de GEI de larga permanencia o una mezcla de GEI. (IPCC, 2007) de los cuales el 18% son producidos en agricultura, silvicultura y usos del suelo, el 22% son generados por residuos y 60% emanados por la energía. (SDA, 2011)

La biomasa se ha utilizado para realizar estudios de productividad primaria y contenido de carbono, nutrientes y energía, entre otros (Bonham, 1990). Esta información es imprescindible para comprender el papel que cumplen las especies en

la mitigación del cambio climático. Los árboles al capturar dióxido de carbono atmosférico y fijarlo en sus estructuras vivas a través del proceso de la fotosíntesis, acumulan carbono en su biomasa, transfieren parte del mismo al mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera, constituyen varias reservas de carbono. La acumulación es influenciada principalmente por factores físicos, edáficos y por patrones de disturbio (Golley, 1983). Estos factores que afectan la estructura comunitaria, edáfica y las reservas de biomasa en las plantaciones forestales tropicales se asocian principalmente con gradientes latitudinales y altitudinales que se relacionan con las diferencias microclimáticas, características físicas y químicas de los suelos, la topografía y las condiciones de humedad del suelo (Clark & Clark, 2000; Alves, *et al.*, 2010; Laumonier, *et al.*, 2010; Wittmann *et al.*, 2008). Los procesos de disturbio también se consideran como condicionantes en esta variación (Urquiza-Haaset, Dolman & Pérez, 2007). La combinación de estos factores conforma unidades ecológicas con características propias.

Para caracterizar de manera cualitativa y cuantitativa las plantaciones forestales, es necesario realizar un inventario detallado de sus aspectos más relevantes como su composición florística, estructura vertical, distribución diamétrica, densidad, abundancia, siendo un parámetro importante la determinación de la biomasa, definida como la cantidad de materia seca por unidad de superficie (*p. ej.* g/cm², kg/m², t/ha), que difiere de la productividad a la que hace referencia Odum, (1995) la cual se refiere a la acumulación de biomasa por unidad de tiempo (*p. ej.* t ha⁻¹ año⁻¹) (De las Salas, 1987). La biomasa vegetal se refiere como biomasa aérea (toda aquella fitomasa viva que se encuentra por encima del nivel del suelo), biomasa muerta o necromasa (compuesta por detritos acumulados en la superficie del suelo) y biomasa subterránea o hipogea (comprende fundamentalmente el sistemas radicular) (Russo, 1983).

En Colombia son pocos los estudios de biomasa aérea forestal con un método indirecto; aunque

se han realizado estudios de biomasa a partir de imágenes satelitales MODIS para ecosistemas. (Anaya, Chuvieco & Palacios, 2008). En el país se han realizado estimaciones de biomasa en distintas regiones naturales del país (Anzola & Rodríguez, 2001). El IDEAM, elaboró el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, como base para el proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación REDD (Yepes *et al.*, 2011). Los estudios realizados en Colombia sobre el almacenamiento de carbono incluyen diferentes niveles de aproximación, que van desde mediciones puntuales en un área determinada hasta estimaciones de orden nacional.

En este artículo de investigación se presenta una estimación de la biomasa aérea de *F. soatensis* y *T. stans*, dos especies usadas frecuentemente en la silvicultura de la ciudad de Bogotá. Concretamente mediante el uso de metodologías tradicionales, se pretende resolver los siguientes interrogantes: ¿Cuánta es la reserva de biomasa aérea aportada por estas dos especies en la localidad de Puente Aranda? y ¿Cuál es la proporción de biomasa en cada una de las dos especies?

Materiales y Métodos

Características del área de estudio

El estudio se desarrolló en la localidad 16 Puente Aranda, en Bogotá D.C., ubicada en el centro de la ciudad, limitando con las siguientes Localidades: al norte con Teusaquillo, al oriente con Mártires; al sur con Antonio Nariño y Tunjuelito; al occidente con Kennedy y Fontibón (SDP, 2009).

La geografía de la localidad de Puente Aranda se distingue por tener un terreno en su mayoría llano, con un ligero desnivel de oriente a occidente el cual estuvo constituido principalmente por humedales; se encuentra ubicada a una altura aproximada de 2600 msnm. La localidad presenta dos tipos de sectores: corredor industrial y zona residencial y comercial (Salud Capital, 2005).

El diagnóstico ambiental ha determinado las siguientes características: en cuanto a calidad del aire, la Localidad de Puente Aranda, por su actividad industrial y gran flujo de vehículos que transitan, aporta la mayor parte de gases de efecto invernadero (GEI) de la ciudad; sobre la contaminación por ruido, ésta es originada principalmente por las fuentes móviles, seguidas por las fuentes fijas, que de acuerdo con la normatividad establecida, están excediendo los niveles permisibles (SDP, 2009); en lo que respecta al suelo, éste se encuentra contaminado principalmente por la inadecuada disposición de residuos sólidos en algunas zonas. Sobre el componente hídrico, se resalta la contaminación por vertimientos industriales, domésticos, así como la mala disposición de las basuras y polución térmica (Salud Capital, 2005). Además, existen otros factores que afectan el componente ambiental de la localidad, señalados en riesgos biológicos por presencia de roedores, perros callejeros y artrópodos y riesgos químicos generados por la inoperancia de ciertas industrias y fábricas que emiten emisiones atmosféricas, vertimientos líquidos y sólidos (SDP, 2009).

El clima de Bogotá D.C. presenta un único patrón de lluvias de tipo bimodal-tetraestacional; los dos períodos de lluvia se presentan, el primero en los meses de marzo, abril y mayo, y el segundo, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. De acuerdo con el Observatorio Ambiental de Bogotá (2012), las precipitaciones medias anuales han variado en los últimos 13 años entre 591 mm y 1.184 mm/año. En cuanto a la evapotranspiración potencial (ETP), Bogotá muestra valores promedio superiores a 850

mm anuales (IEU, 2011). En general en Bogotá, la temperatura varía notablemente dentro de un margen de hasta 10°C. Sin embargo la tendencia observada ha sido de temperaturas máximas y mínimas entre los meses de diciembre a marzo con valores que oscilan entre los 26°C y -5.0°C. En general, la temperatura promedio en la ciudad oscila entre 12 y 14.5°C; por esta razón, el valor medio anual de 14°C se considera representativo en la localidad de Puente Aranda (IEU, 2011). De acuerdo con la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 1987), la localidad de Puente Aranda corresponde al bosque seco montano bajo (bs-MB) el cual se caracteriza por zonas ubicadas entre 2.000 y 3.000 msnm, con biotemperaturas entre 12 y 18°C y precipitación entre 500 y 1.000mm anuales.

Datos de la Vegetación

En esta investigación se utilizó un método no destructivo indirecto para la estimación de la biomasa de las especies. Se realizó la revisión del total del arbolado urbano de la localidad de Puente Aranda a partir del estudio elaborado por el Jardín Botánico “José Celestino Mutis” de la ciudad de Bogotá D.C., y se definieron las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans*, por ser las de mayor abundancia dentro de la localidad (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2007).

Selección de los Individuos del Muestreo

El universo de la población se determinó en 2.901 individuos, de los cuales 1.809 pertenecían a *F. soatensis* y 1.092 a *T. stans*, es decir el 62% y 38% respectivamente. De esta población se obtuvo una muestra significativa a partir de la ecuación 1:

$$n = \frac{\text{Def} \frac{z^2 s^2}{e^2}}{1 + \text{Def} \frac{z^2 s^2}{Ne^2}} \quad (1)$$

(Zuñiga et al., 2011)

Notación:

$n =$ Tamaño de muestra

$N =$ Universo de la población

$\text{Def} = 1$

$Z = 1,96$

$S =$ Varianza Muestral

$e =$ Precisión en este caso 0,1

Con la base de datos de la ubicación geográfica en coordenadas X e Y del Jardín Botánico “José Celestino Mutis”, se elaboró el muestreo basado en la técnica estadística de Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE); una vez obtenida la muestra, se obtuvo la proporción para cada especie y la selección de los individuos a medir, lo que definió un total de 803 individuos, de los cuales 583 pertenecieron a *F. soatensis* y 220 a *T. stans*.

Una vez conocida la muestra se empleó la técnica de interpolación de capas en el programa ARC-GIS, cruzando la información del loteo de la localidad de Puente Aranda en formato shape file de la Unidad de Catastro Distrital, y la ubicación de los árboles del estudio en coordenadas X e Y de la misma localidad, lo anterior con el fin de obtener una información precisa con respecto a la ubicación geográfica de cada individuo.

Muestreo de Árboles

Cada uno de los individuos con Diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 2,5 cm fueron medidos así: El DAP se tomó a los 1.3 m de altura desde el suelo para cada una de los individuos, con una cinta métrica flexible en donde se obtuvo el perímetro o circunferencia (CAP) que fue convertido en DAP a partir de la fórmula: $DAP = \frac{CAP}{\pi}$ (Villareal *et al.*, 2004). Diámetro de la copa: Se estimó para cada individuo con una cinta métrica a partir de dos medidas perpendiculares bajo la copa. Altura Comercial o del fuste (hf): Se realizó una estimación corriente o “a simple vista”, con ayuda de una regla guía, desde el suelo a la primera ramificación (Vallejo *et al.*, 2005). Altura total (ht): Siguiendo el mismo método empleado para la medición de la altura del fuste, se estimó la altura total como la distancia desde el suelo hasta la cima de la copa de cada individuo.

Procesamiento de la Información

Estructura

Los árboles de *F. soatensis* se distribuyeron en seis clases diamétricas de acuerdo a su DAP: I. 2,2 – 12,1cm, II.12,2 – 22,1cm, III.22,2 – 32 cm, IV. 33 – 41,9cm, V. 42– 51,8cm y VI > 52,8cm; y

en cinco clases para el caso del *T. stans*, I. 1,3 – 6,5cm, II. 6,6 –11,6cm, III.11,7-16,8cm, IV.16,9 – 22cm,V > 22,1 cm, de acuerdo con la metodología de Sturges (1926), con intervalos de amplitud de cada 9,9 y 5,2 cm respectivamente. También se utilizó la clasificación sugerida por Rangel & Velásquez (1997) para estudiar la distribución vertical de la vegetación, con los siguientes intervalos de altura: Arbustivo (ar): 1.5-5 m; subárboreo (Ar): 5.1-12 m; arbóreo inferior (Ai): 12.1-25 m y arbóreo superior (As): >25m.

Parámetros usados

Se incluyó la densidad de la madera ρ , definida como la razón entre el peso de la madera anhidra y el volumen en estado verde. Se calculó ρ para la especie *T. stans* en el Laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, para ello se tomaron muestras de tronco entre 5 y 10 cm³, a 1.3 m del suelo y para extraerlas se utilizó un taladro pressler, manteniendo en lo posible la misma altura. Estas se pesaron en campo usando una balanza de precisión (0,01 g), se envolvieron en papel periódico, se etiquetaron, se preservaron en alcohol etílico al 70%, y se almacenaron en bolsas plásticas para el transporte al laboratorio. Posteriormente, las muestras se secaron en el horno a 105°C hasta peso constante para obtener la masa anhidra (seca) y se pesaron en una balanza electrónica de precisión 0,01 g. El valor de la densidad de la madera del *F. soatensis* fue proporcionado por el Laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital.

Ecuaciones alométricas

Para efectos del estudio, se estimó la biomasa aérea de árboles $\geq 2,5$ cm DAP mediante siete modelos alométricos sugeridos en la literatura, que se usan comúnmente en investigaciones (Modelos 1-7 en la Tabla 1); dichos modelos evalúan la biomasa en ocupación de variables de práctica medición como diámetro (DAP), altura total del árbol (ht), altura comercial o del fuste (hf) y peso específico (ρ) de la madera. Se usaron cuatro tipos de ecuaciones que son:

En función del DAP (modelos 1-2 y 6), en función del DAP y la altura (modelo 3), en función del DAP, altura y la densidad de la madera (modelos 4 y 5), en función de la densidad de la madera y el DAP (modelo 7). Si bien es cierto que en Colombia recientemente se han sugerido modelos para bosques naturales (Álvarez, Duque, Del Valle, Moreno & Saldarriaga, 2012), en

esta investigación no se tomaron en cuenta por ser los análisis realizados en especies plantadas en zona urbana, en condiciones diferentes a las naturales. Además, el cálculo de la biomasa pretende en una próxima investigación, estimar el carbono retenido por estas especies en las condiciones particulares en que se encuentran establecidas.

Tabla 1. Modelos alométricos empleados para estimar la biomasa aérea de árboles con $DAP \geq 2.5$ de las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans* en la localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C.

Autor	Modelo
1. IPCC, 2005	$B = e^{[-2.298+2.649 \cdot \ln(DAP)-0.021 \cdot \ln(DAP^2)]}$
2. Chave et al., 2001	$\ln B = [-2.19 + 2.54 \cdot \ln(DAP)]$
3. Rodríguez, 1989	<p>$Peso\ seco\ madera\ tallo = 7.54908 + 0.01753 \cdot DAP^2 \cdot hf + 0.10827 \cdot 10 - 19 \cdot DAP^2 \cdot ht$</p> <p>$Peso\ seco\ corteza\ tallo = 0.98155 + 0.00229 \cdot (DAP^2 \cdot ht)$</p> <p>$Peso\ seco\ madera\ rama = 18.54992 - (0.29015 \cdot 10 - 3) \cdot (DAP^2 \cdot hf)$</p> <p>$Peso\ seco\ corteza\ rama = 5.09423 + 0.27629 \cdot 10 - 7 \cdot ht$</p> <p>$Peso\ seco\ madera\ ramilla = -2.09893 + 0.5409 \cdot DAP - 0.0357 \cdot ht$</p> <p>$Peso\ seco\ corteza\ ramilla = -0.375 + 0.0012 \cdot (DAP^2 \cdot ht)$</p> <p>$Peso\ seco\ hojas = 0.53331 + 0.00103 \cdot (DAP^2 \cdot ht)$</p> <p>$B = B_{tallos} + B_{ramas} + B_{corteza} + B_{hojas}$</p>
4. Brown, 1997	$B = VT \cdot \rho_i \cdot FEB$
5. Chave et al., 2005	$B = e^{[-2.557+0.94 \cdot \ln(\rho_i \cdot DAP^2 \cdot ht)]}$
6. Brown, 1997	$B = 21,297 - 6,953 \cdot DAP + 0,740 \cdot DAP^2$
7. Chave et al., 2005	$B = \rho_i \cdot e^{[-1.239+1.98 \cdot \ln DAP+0.207 \cdot \ln DAP^2-0.0281 \cdot \ln DAP^3]}$

Convenciones: B: biomasa; DAP: diámetro a la altura del pecho (1.30m); ht: altura total; hf: altura comercial; peso específico de la madera (g/cm^3), VT: volumen del tronco (m^3/ha); FEB: factor de expansión de biomasa; Ln: logaritmo neperiano.

Análisis de Datos

Se realizaron distribuciones de frecuencia y se calcularon estadísticos descriptivos de las variables estructurales: Densidad (número de individuos), área basal, altura y de la biomasa en cada especie, a nivel general y por clase diamétrica con el fin de evaluar la distribución de la vegetación y la variación de la biomasa en las especies del estudio en la localidad de Puente Aranda. Se experimentaron los supuestos de normalidad mediante las pruebas de Kolmogorov– Smirnov y ShapiroWilk los cuales se fundan en la máxima diferencia entre la distribución acumulada de la muestra y la distribución acumulada hipotética.

Para valorar la predicción que cada modelo hace de los resultados de los otros modelos empleados para la estimación de la biomasa, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (R), tomando como referencia el estudio de Chavé et al. (2003), de tal modo que se logre seleccionar el modelo que presenta la mayor correlación media con los otros modelos que se están comparando. El coeficiente de correlación de Spearman es una medida de asociación entre dos variables aleatorias continuas. Se calcula mediante la ecuación 2:

$$r_{s(x,y)} = 1 - 6 \frac{\sum D^2}{nn(n^2-1)} \quad (2)$$

En donde, D es la diferencia entre los estadísticos de orden de las dos variables a comparar (x-y) y n es el número de parejas.

Con el fin de evaluar las diferencias significativas de las variables estructurales a saber: Altura, DAP y biomasa, en las dos especies del estudio y por clase diamétrica, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis que es un análisis de varianza por una vía no paramétrica y comparaciones múltiples. (Ver Anexo, Figuras 8 a 13). Dicha prueba se utilizó para contrastar la hipótesis H_0 : Las muestras de cada especie han sido obtenidas de la misma población o de poblaciones con medianas iguales; para este resultado se asignan condiciones a las observaciones, suma estas condiciones separadamente para cada grupo y las coteja calculando el estadístico H a través del cálculo de la ecuación 3:

$$H = \frac{12}{n(n-1)} \sum_{j=1}^j \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (3)$$

En donde, H es el valor estadístico de la prueba Kruskal-Wallis, n es el tamaño total de la muestra, R_j^2 es la sumatoria de los rangos elevados al cuadrado, n_j es el tamaño de la muestra de cada grupo, j son las muestras aleatorias.

$$\text{Hallamos } \alpha = \frac{\alpha}{K(K-1)} \text{ Donde K es el número de variaciones diamétricas} \quad (4)$$

Luego se determinó del valor de $Z_{1-\alpha}$ para cada uno de los casos y finalmente se determinó de la variación teórica con la ecuación 5.

$$\Delta_{ij} = Z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (5)$$

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS Statistics 2011.

Resultados

Estimación de la Biomasa

Al realizar el análisis estadístico de la distribución normal para los siete modelos utilizados para la

El estadístico H calculado se confronta con valores críticos de distribución ji cuadrado con J-1 grados de libertad. Si la hipótesis nula es segura y las condiciones se han extraído de la misma población o de poblaciones con medianas idénticas y todas las muestras tienen puntuaciones de cinco o más, entonces la distribución muestral de H es una aproximación muy cercana de la distribución ji cuadrado. Si las poblaciones no son diferentes una de la otra, se espera que las sumas de sus condiciones sean aproximadamente las mismas. Una vez que se ha rechazado la hipótesis nula con la prueba de Kruskal Wallis, y se acepta que al menos una de las j muestras no pertenece a la misma población, se desea saber cuál de las j muestras tiene una mediana diferente de las restantes; para esto se realizaron los balances múltiples en las cuales se contrastan los rangos medios de todos los pares de grupos mediante el cálculo del estadístico Z' para cada comparación entre los grupos de variaciones diamétricas, y se obtiene un valor p asociado con cada comparación, p es la probabilidad asociada con Z' (Siegel & Castellan, 1988).

Para saber entre cuales de las variaciones diamétricas existe diferencia significativa, se realizó una prueba adicional llamada prueba de Dunn, aplicando los pasos mostrados en las ecuaciones 4 y 5.

estimación de Biomasa Aérea se plantearon las siguientes hipótesis: Hipótesis Nula H_0 : Los datos obtenidos del modelo utilizado para la estimación de biomasa aérea provienen de una distribución normal. Hipótesis Alternativa H_1 : Los datos obtenidos del modelo utilizado para la estimación de biomasa aérea no provienen de una distribución normal.

Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra y encontrándose que los grados de libertad son mayores a 30, se utilizó como prueba de normalidad la de Kolmogorov-Smirnov, encontrando que los valores de Sig para *F. soatensis* (0,000) y de *T. stans* (0,000) son inferiores que el nivel de significancia del estudio de 0,05, se rechaza la Hipótesis Nula y

por tanto se puede concluir que tanto en la especie *F. soatensis* como en la especie *T. stans*, los datos obtenidos de los diferentes modelos utilizados para la estimación de biomasa aérea no provienen de una distribución normal (Ver Anexo; Figuras 1 a 7).

Estimación de la biomasa por clase diamétrica y por especie

Las estimaciones realizadas según los diferentes modelos, presentaron diferencias que se corroboraron mediante la prueba de Kruskal-Wallis, las cuales se hicieron con relación a las clases diamétricas y por especie, lo que da como resultado que las muestras analizadas provienen de poblaciones con medianas diferentes; para encontrar la procedencia de las diferencias significativas, se realizó la prueba Dunn a cada una de las comparaciones realizadas en las clases diamétricas vs la altura al fuste, el DAP y el promedio de la Biomasa de cada una de las especies. Se plantearon las siguientes hipótesis: H_0 : Las muestras de cada

variación diamétrica han sido obtenidas de la misma población ó de poblaciones con medianas iguales. H_a : Las muestras de cada variación diamétrica han sido obtenidas de distinta población ó de poblaciones con medianas diferentes. El estadístico de contraste, mostró que el $p = 0,000$ es menor al 5% por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas de altura, es decir todas las muestras provienen de diferentes poblaciones con relación a la altura.

Se realizaron las ecuaciones de Dunn, se calculan las diferencias teóricas resumidas en las tablas de diferencias teóricas de cada caso (Tablas 2 y 3). Por otra parte, se calcularon las diferencias observadas de los rangos obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis; así entonces, si en valor absoluto es mayor que el dato calculado en la variación teórica, entonces existe una diferencia significativa entre las variaciones diamétricas. Matemáticamente se plantea de la siguiente forma:

$$Si Si |\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \Delta_{ij} \text{ entonces la diferencia es significativa.}$$

Para esto se plantean las diferencias significativas entre las variaciones diamétricas y las variables a contrastar en cada caso. Se obtuvieron los rangos promedio de altura la fuste, los promedios de DAP y los promedios de biomasa para las especies *F. soatensis* y *T. stans* y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas ya que $p = 0,00$ es menor al 5% por lo tanto todas las muestras provienen de diferentes poblaciones con relación a la altura, al DAP y al valor calculado de biomasa. Para evidenciar las diferencias significativas entre las variaciones diamétricas con respecto a las variables, altura, DAP y biomasa ver Figuras 13 a 18 del Anexo.

Distribución de biomasa en las diferentes especies

En las Figuras 1 y 2 se muestra la distribución de la biomasa en cada clase diamétrica para *F. soatensis* y *T. stans* con cada uno de los siete

modelos citados en literatura y el modelo de estimación de esta investigación.

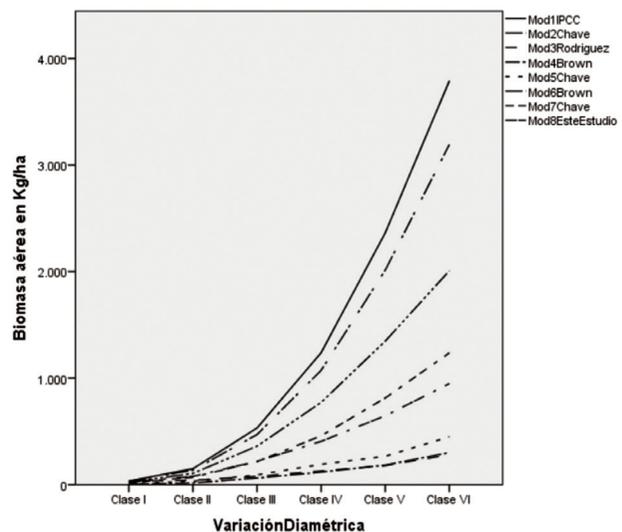


Figura 1. Distribución de Biomasa Aérea (kg.ha-1) por clase diamétrica (cm) usando los siete modelos alométricos para la especie *Ficus soatensis*

Tabla 2. Rangos de Clase diamétrica de la especie *F. soatensis*

Clase Diamétrica	Mínimo –Máximo (cm)
Clase1	entre 0,022 y 0,121
Clase2	entre 0,122 y 0,221
Clase3	entre 0,222 y 0,320
Clase4	entre 0,321 y 0,419
Clase 5	entre 0,420 y 0,519
Clase6	mayores a 0,519

Tabla 3. Rangos de Clase diamétrica de la especie *T.stans*

Clase Diamétrica	Mínimo - Máximo
Clase1	entre 0,013 y 0,064
Clase2	entre 0,065 y 0,116
Clase3	entre 0,117 y 0,168
Clase4	entre 0,169 y 0,220
Clase5	mayores a 0,221

Con relación a la Biomasa de la especie *F. soatensis*, en la Figura 1 se observa que los modelos 1, 2 y 6 presentan mayores estimaciones de biomasa y a su vez la amplitud de la variación fue mayor con relación a los demás modelos. Los modelos 3, 4 y 5 presentaron el menor valor de biomasa y fueron similares entre sí. Los modelos 6 y 7 obtuvieron valores medios, el modelo 8 de este estudio se asemeja a los resultados del modelo 7.

Con relación a la biomasa de la especie *T. stans*, en la Figura 2 se observa que los modelos 1, 2, 6 y 7 presentan mayores estimaciones de biomasa y a su vez la amplitud de la variación fue mayor con relación a los demás modelos. El modelo 4 presentó el menor valor de biomasa. Los modelos 3 y 5 obtuvieron valores medios y fueron similares entre sí. El modelo 8 de esta investigación se asemeja a los resultados de los modelos 6 y 7.

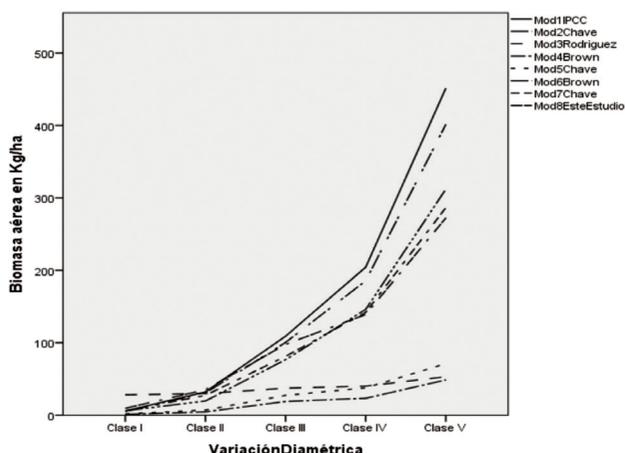


Figura 2. Distribución de Biomasa Aérea (kg ha^{-1}) por clase diamétrica (cm) usando los siete modelos alométricos para la especie *Tecoma stans*

Para estimar el total de la biomasa para las dos especies *F. soatensis* y *T. stans* en la localidad de Puente Aranda, fue necesario determinar intervalos de confianza del 100 $(1-\alpha)$ % para la media y el total poblacional con el 95% de confianza propuesto por Ospina (2001).

A partir de los resultados obtenidos en las estimaciones de biomasa (Tabla 4) para el caso del modelo 1 (IPCC, 2005), la biomasa total entre *F. soatensis* y *T. stans* en la localidad de Puente Aranda se encuentra entre $438,3 \text{ kg ha}^{-1}$ y 585 kg ha^{-1} . En el modelo 2 (Chave *et.al.*, 2001) la biomasa correspondiente oscila entre $384,5 \text{ kg ha}^{-1}$ y $509,1 \text{ kg ha}^{-1}$. En el modelo 3 (Rodríguez,1989)

la biomasa se encuentra entre 81,6 kg ha⁻¹ y 91,7 kg ha⁻¹, en el caso del modelo 4 (Brown,1997) la biomasa total oscila entre 50,7 kg ha⁻¹ y 64,9 kg ha⁻¹, en el modelo 5 (Chave, Riera & Dubois ,2005) la biomasa se encuentra entre 88,2 kg ha⁻¹ y 69,9 kg ha⁻¹, el modelo 6 (Brown, 1997) la biomasa se encuentra entre 358 kg ha⁻¹ y 276,2 kg ha⁻¹, el modelo 7 (Chave, Riera & Dubois, 2005) oscila entre 235,4 kg ha⁻¹ y 184,7 kg ha⁻¹, en el

caso del modelo generado en esta investigación, la biomasa oscila entre 220,2 kg ha⁻¹ y 179,7 kg ha⁻¹. De esta manera, se puede observar que los datos más altos de biomasa se dan aplicando los modelos 1, 2 y 6, mientras que los que registran menores valores de biomasa son los modelos 3, 4 y 5; el modelo 7 y el modelo 8 de este estudio presentan estimaciones intermedias, con respecto a los demás modelos.

Tabla 4. Valores de intervalos de confianza al 95% para el cálculo de biomasa en la localidad de Puente Aranda para las especies *Ficus soatensis* y *Tecoma stans*

Modelo	Biomasa (kg ha ⁻¹)	Biomasa (t ha ⁻¹)
1. IPCC, 2005	438,3; 585	0,438;0,585
2. Chave, Riéra, & Dubois, 2001	384,5; 509,1	0,348;0,509
3. Rodriguez, 1989	81,6; 91,7	0,082;0,092
4. Brown,1997	50,7; 64,9	0,051;0,065
5. Chave <i>et ál.</i> , 2005	69,9;88,2	0,070;0,088
6. Brown, 1997	276,2;358;	0,276;0,358
7. Chave <i>et ál.</i> , 2005	184,7;235,4;	0,184;0,235
8. Este estudio	179,7;220,2	0,179;0,220

Con el fin de observar el comportamiento del cálculo de Biomasa por especie y la variación diamétrica con respecto a los siete modelos matemáticos en estudio, se elaboraron diagramas de cajas y bigotes (Ver Figuras 14 a 24 del Anexo).

En cuanto al análisis de la correlación de Spermán realizado para los siete modelos propuestos en la literatura, se plantearon las siguientes Hipótesis:

H₀: No existe correlación entre los siete modelos para el cálculo de la Biomasa aérea en las especies *F. soatensis* y *T. stans*.

H_a: Existe correlación entre los siete modelos para el cálculo de la Biomasa aérea en las especies *F. soatensis* y *T. stans*.

Se rechaza la hipótesis nula puesto que el valor de Sig. (bilateral) es menor a 0,05, es decir, si existe correlación entre los modelos desarrollados para el cálculo de biomasa aérea.

De acuerdo con la correlación de Spermán, es evidente observar que existe una muy buena correlación en los modelos de estimación. Las correlaciones entre los valores de biomasa

estimados por los diferentes modelos fueron significativas ($r^2 > 0,90$). Estas correlaciones altas encontradas entre los resultados de los modelos pueden ser indicio de que todos los modelos usan la misma aproximación, provienen de una misma forma y son ajustados para cada caso. Por esta razón, se requiere de otro tipo de modelos que se puedan calibrar y comparar con las metodologías tradicionales con el fin de obtener las estimaciones más precisas.

Modelo alométrico de este estudio para cálculo de biomasa aérea

Una vez obtenidos los datos de biomasa aérea to-

tal a partir del DAP, altura del fuste, altura total y densidad, se ajustó la ecuación 6, en su expresión logarítmica, con el fin de determinar un modelo de estimación de Biomasa aérea de los arboles

$$B = \text{DAP}^{\beta_0} \text{AF}^{\beta_1} \rho^{\beta_2} \rightarrow \text{Ec. 1} \quad (6)$$

De la ecuación 6, se tienen las siguientes variables: Variable dependiente: B= Biomasa del árbol/Variables independientes: DAP=Diámetro de altura al pecho, AF=Altura del Fuste, ρ =Densidad específica de la madera.

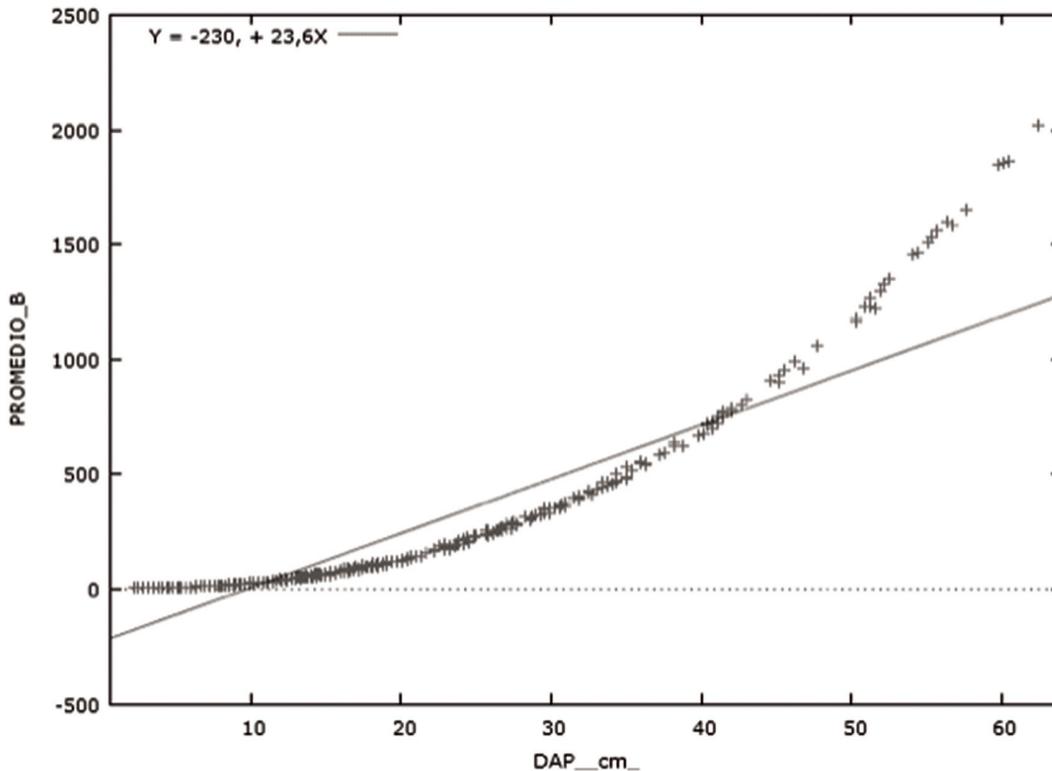


Figura 3. Promedio de la Biomasa (kg.ha-1) con respecto al DAP (cm)

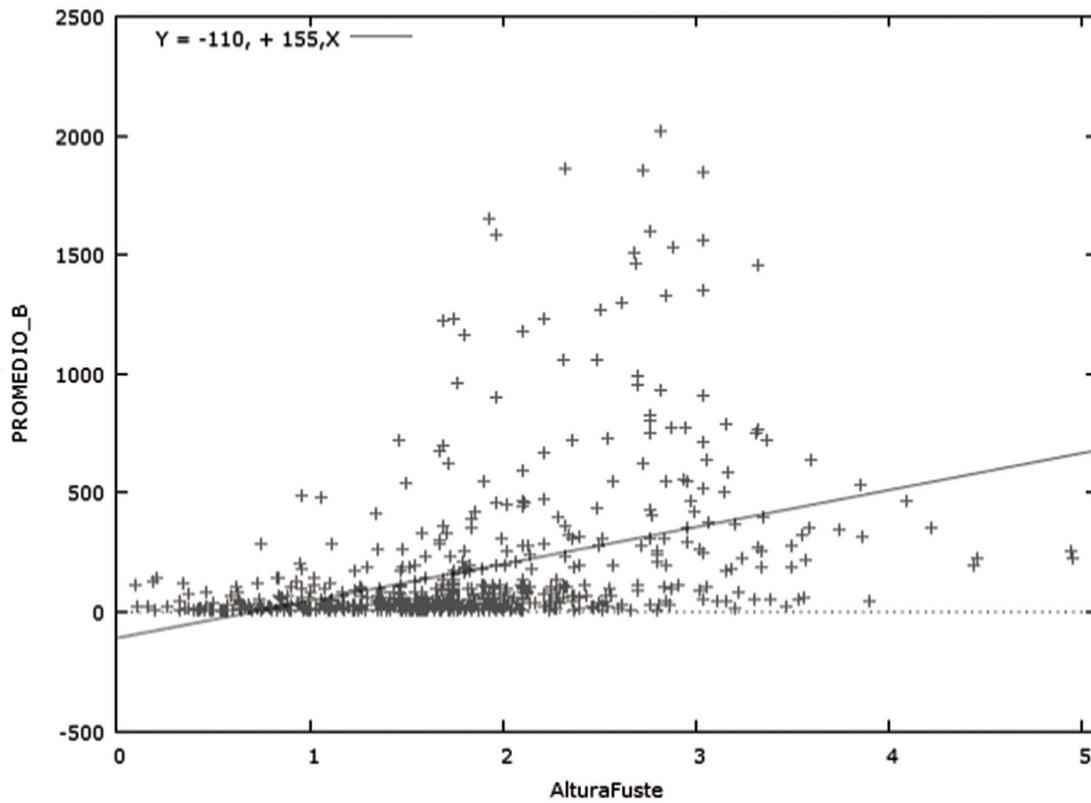


Figura 4. Promedio de la Biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) con respecto a la Altura al Fuste (m)

La expresión de la ecuación (6), en su forma lineal, mediante transformación logarítmica da la ecuación 7:

$$\ln(B) = \beta_0 \ln(\text{DAP}) + \beta_1 \ln(\text{AF}) + \beta_2 \ln(\rho) \rightarrow \text{Ec. 2} \quad (7)$$

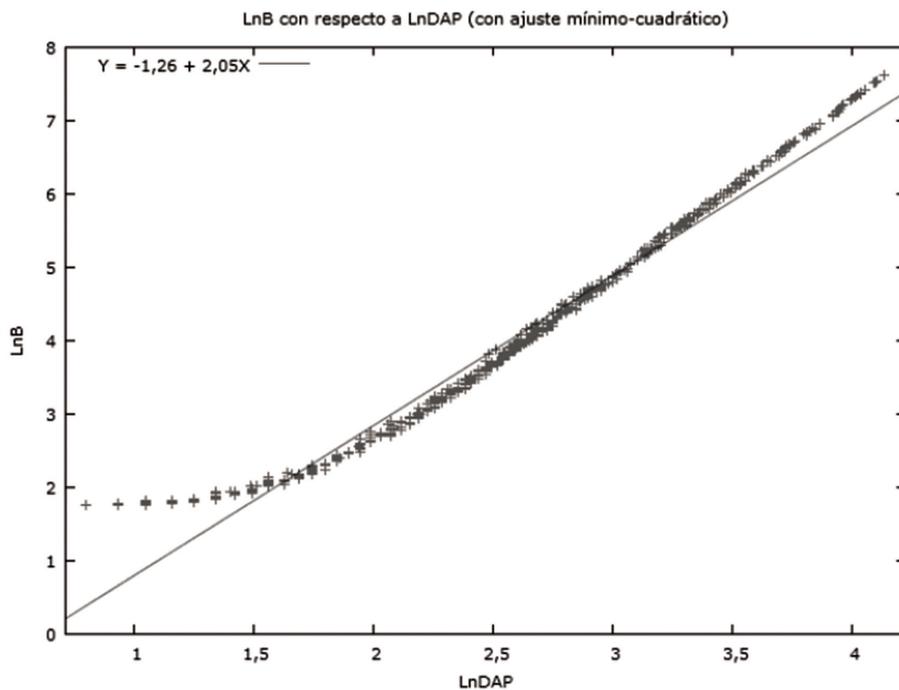


Figura 5. Ln (Promedio de la Biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)) con respecto al Ln (DAP (cm))

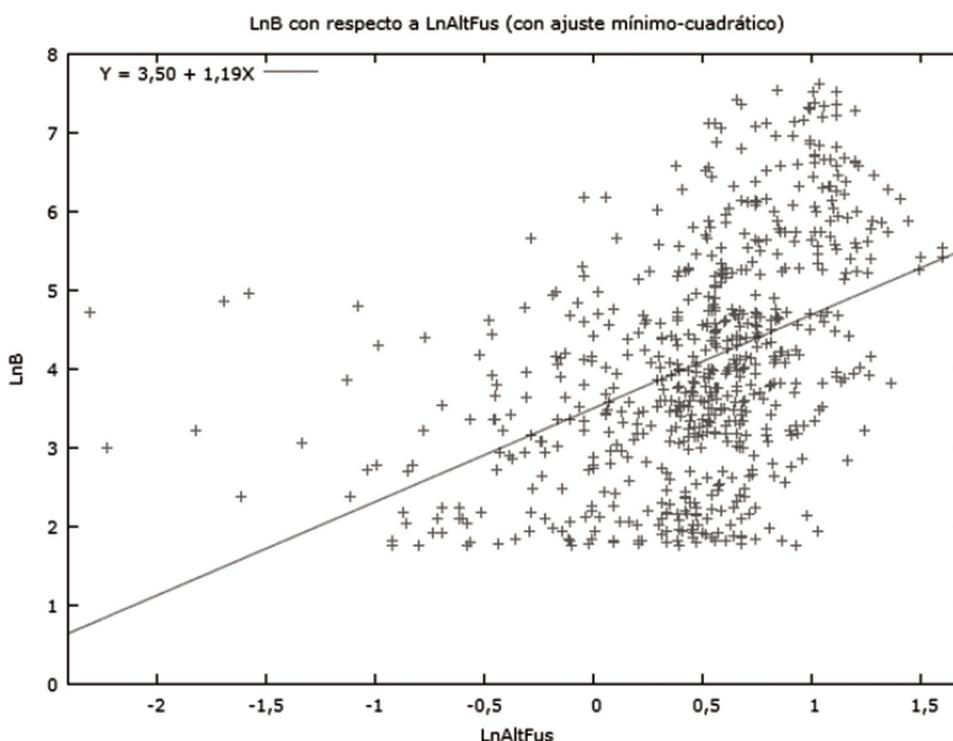


Figura 6. Ln (Promedio de la Biomasa (kg/ha⁻¹)) con respecto al Ln (Altura al Fuste (m))

Es importante resaltar que el modelo inicial tuvo en cuenta la variable Altura Total, la cual fue eliminada por no ser significativa.

Por otra parte, se realizaron las pruebas de normalidad de los errores y de colinealidad de las variables,

test de ajuste que ofrece el programa GRETL (Cotrell & Lucchetti, 2013) los cuales permiten medir la confiabilidad del modelo alométrico. Una vez realizada la regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios – MCO con las variables significativas antes mencionadas, se encontró la información de la Tabla 5.

Tabla 5. Descripción de las variables significativas MCO

	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p
LnDAP	1, 90121	0, 0161468	117, 7	0, 0000***
LnAltFus	0, 266478	0, 0229987	11, 59	2, 37e-028***
LnDensidad	1, 12221	0, 0483150	23, 23	2, 35e-087***
Media de la vble. Dep	4, 046380	D.T. de la vble. Dep	1, 447297	
Suma de cuad. residuos	55, 12616	D.T. de la regresión	0, 291221	
R-cuadrado	0, 995428	R -cuadrado corregido	0, 995414	
F (3, 650)	47173, 54	Valor p. (de F)	0, 000000	
Log-verosimilitud	-119, 4743	Criterio de Akaike	244, 9486	
Criterio de Schwarz	258, 3933	Crit. deHannan-Quinn	250, 1624	

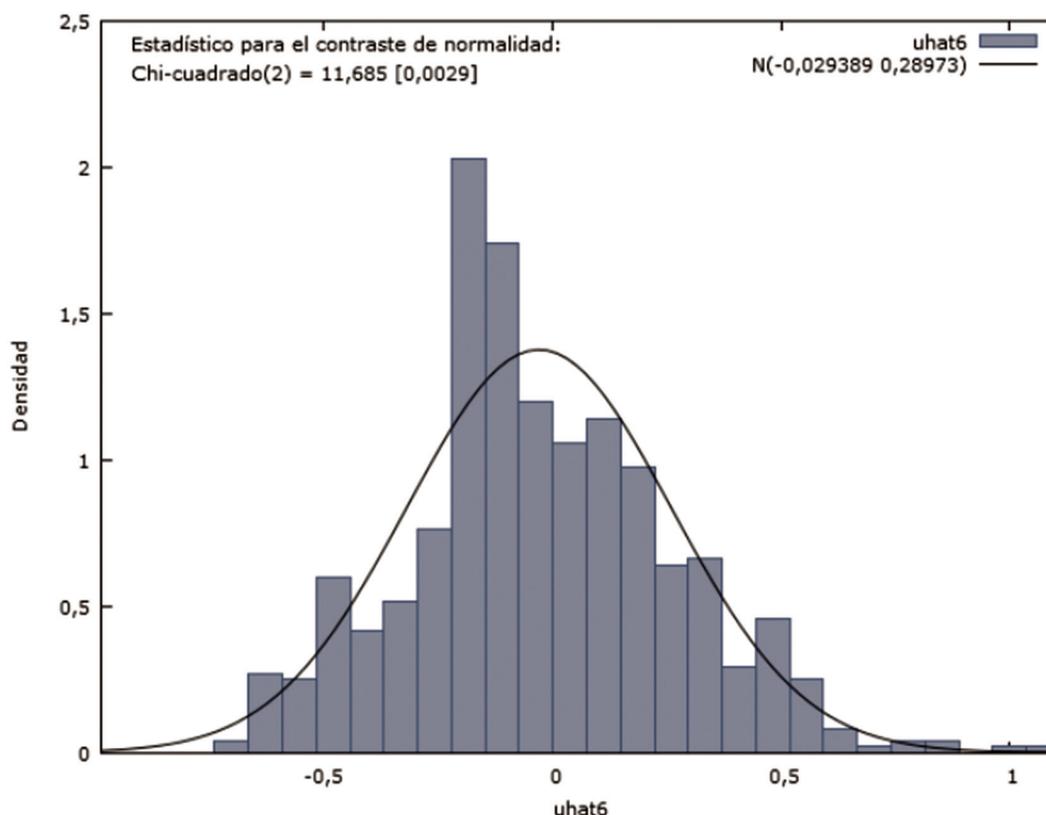


Figura 7. Cumplimiento del supuestos de normalidad en los errores – MCO. Ver anexo Tabla 1 Normalidad en los errores

Como se observa en la Tabla 6, el test de revisión de colinealidad que determina Grellt, muestra que los factores de inflación de la varianza, según

cada variable, son menores a 10, lo cual es el rango permitido. Así, se concluye que no hay presencia de colinealidad (Gujarati, 2010).

Tabla 6. Presencia de colinealidad del modelo

Factores de inflación de varianza (VIF)

Mínimo valor posible = 1.0

Valores mayores que 10. 0 pueden indicar un problema de colinealidad

LnDAP 1, 263

LnAltFus 1, 3822

LnDensidad 1, 281

VIF (j) = $1 / (1 - R(j)^2)$, en donde R (j) es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes

Propiedades de la matriz X'X:

norma -1 = 7088, 2713

Determinante = 27664411

Número de condición recíproca = 0, 0037788556

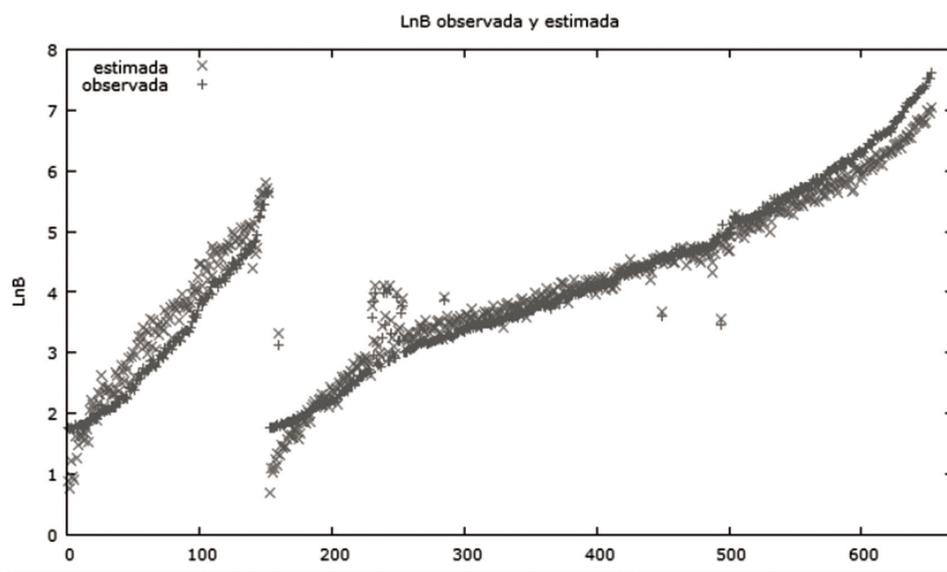


Figura 8. Dato Biomasa Observado y estimado según el MCO

El modelo final que describe el cálculo de biomasa del árbol se muestra en la ecuación 8:

$$\ln(B) = 1,90121\ln(\text{DAP}) + 0,266478\ln(\text{AF}) + 1,12221\ln(\rho) \rightarrow \text{Ec. 3} \quad (8)$$

De esta manera, la ecuación 8 se constituye en el modelo alométrico que predice la biomasa aérea y es la propuesta elaborada en esta investigación como modelo para calcular la biomasa.

Discusión y Conclusiones

Los estudios de biomasa son importantes porque enseñan la distribución de la materia orgánica en el sistema y se han usado con diferentes propósitos como: estimación de contenido de carbono en los bosques (Brown, Gillespie & Lugo, 1989). De acuerdo con el censo del arbolado urbano realizado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis, en la localidad de Puente Aranda, *F. soatensis* en su biomasa aérea obtuvo 58,48 t ha⁻¹, y 29,274 t ha⁻¹ de Carbono y *T. stans* 4,772 t ha⁻¹ en biomasa aérea y 2,386 t ha⁻¹ de Carbono. Los datos de biomasa se calcularon a través del modelo empleado por la FAO desarrollado por Brown (1997) $BT = \text{FEB} \cdot V \cdot \text{DB}$, (modelo que se empleó dentro de este estudio y corresponde al modelo 4); de otra parte, el Carbono

fue calculado hallando el 50% de la biomasa (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2007). Teniendo en cuenta que la localidad de Puente Aranda tiene un área total de 1724,28 ha, dentro de las cuales se encuentran sembrados 1809 individuos de *F. soatensis* y 1092 de *T. stans*, se concluye que no alcanza a existir un árbol de cada especie por hectárea, de este modo es difícil tener certeza de la información suministrada por el Jardín Botánico, ya que se reporta en t/ha, y se debe tener en cuenta esta relación.

La mayoría de los modelos utilizan el DAP como variable estimadora de la biomasa; sin embargo, en la literatura se ha resaltado la importancia de incorporar también en los modelos, la altura y la densidad específica de la madera; con la expectativa de que permitan estimar con mayor precisión la biomasa.

Se observó la variación de las reservas de biomasa en las especies *F. soatensis* y *T. stans* de la localidad de Puente Aranda, la cual está relacionada con la talla de los individuos y su edad.

La biomasa total de las dos especies en la localidad varió entre 233,56 y 254,83 kg ha⁻¹ con un 95% de confianza; fue menor en *T. stans*, en la cual osciló entre 27,3 y 31,76 kg ha⁻¹, y mayor en *F. soatensis* con valores entre 183,38 y 245,95 kg ha⁻¹. Con estos resultados se concluye que la cantidad de biomasa, y por tanto, de carbono almacenado por estas dos especies es muy baja, infiriendo que estas especies no son grandes almacenadoras de carbono debido a su porte medio y su lento crecimiento.

La especie *F. soatensis* concentra su mayor cantidad de biomasa en la clase diamétrica VI, en la cual se encuentran árboles de estratos subárboreo y arbóreo inferior, mientras que *T. stans* almacena la mayor cantidad de biomasa en la clase diamétrica V, donde presentan predominancia el estrato subárboreo y algunos arbustivos.

La poca cantidad de árboles de gran porte de *T. stans* es una razón para que se presenten valores más altos de las reservas de biomasa en el *F. soatensis*. Se infiere que ante la ausencia de árboles grandes, esta biomasa se podría suplir con la biomasa en estratos inferiores.

En la distribución de biomasa, las clases diamétricas y las alturas inferiores juegan un papel fundamental en el almacenamiento de carbono debido al alto número de individuos existentes en fase de crecimiento.

Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad como referencia para la ciudad de Bogotá, la cual no cuenta con estudios de biomasa en sus plantaciones forestales urbanas y los datos reportados en el Plan Local de Arborización Urbana de Puente Aranda difieren de gran manera con los resultados obtenidos en esta investigación.

Se desarrolló un modelo alométrico por mínimos cuadrados ordinarios MCO que toma como variables independientes, el DAP, la altura al fuste y la densidad específica de la madera, con r² de 0,99. Este modelo es aplicable para la evaluación y cálculo de biomasa aérea en plantaciones forestales de las especies *F. soatensis* y *T. stans*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al laboratorio de maderas de la Universidad Francisco José de Caldas por su colaboración, en especial a Oscar Romero.

Literatura Citada

1. Álvarez E., Duque A., del Valle J.I., Moreno F. & Saldarriaga J. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and management. Volume 267*, 1 March 2012, Pages 297–308.
2. Alves, L. F., Vieira, S., Scaranello, M. A., Camargo, P. B., Santos, F. A., Joly, C., et al. (2010). Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *Forest Ecology and Management. 260* (5), 279-291
3. Anaya, J., Chuvieco, E., & Palacios, A. (2008). Estimación de biomasa aérea en Colombia a partir de imágenes MODIS. *Revista de Teledetección, 30*, 5-22.
4. Anzola, A. & Rodríguez, J. (2001). Estimación preliminar de biomasa en ecosistemas boscosos de Colombia. (Tesis de pregrado) Ingeniería forestal. Bogotá Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
5. Bonham, C. (1990). Measurements for terrestrial vegetation. *Soil Science. 150* (1)483.
6. Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests; a Primer Food and Agriculture Organization. *FAO Forestry Paper, 134*, 1-55.
7. Brown, S., Gillespie, A., & Lugo, A. (1989). Biomass Estimation Methods for Tropical Forest with Applications to forest Inventory Data, *Forest Science, 35* (4),881 – 902.
8. Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., et al. (2005). Tree Allometry and

- improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145 (1), 87-99.
9. Chavé, J; Condit, R; Lao, S; Caspersen, JP; Foster, RB & Hubbell, SP. (2003). Spatial and temporal variation in biomass of a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91, 240-252.
 10. Chave, J., Riéra, B., & Dubois, M. A. (2001). Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology*, 17 (1), 79-96.
 11. Clark, D., & Clark, D. (2000). Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 137 (1-3), 185-198.
 12. Cotrell, W & Lucchetti, R. (2013). Software Gretl 1.9.12. North Carolina: Allin Cottrell and Riccardo "Jack" Lucchetti. Recuperado de: <http://gretl.sourceforge.net/>
 13. De las Salas, G. (1987). Suelos y Ecosistemas Forestales; con énfasis en América Tropical. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. 450 p.
 14. Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R., & Valladares, F. (2006). Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 166p
 15. Golley, F. B. (1983). Ecosystems of the world. 14 A. Tropical Forest Ecosystems Structure and Function. Athens, EE.UU: Golley, FB. 381p.
 16. Gore, A. (2007). Una verdad incómoda: La crisis planetaria del calentamiento global y cómo afrontarla. Barcelona: Gedisa Editorial. 325p. Gujarati, D. (2010). Economía. New York: McGraw Hill. 921 p.
 17. Holdridge, L. (1987). Ecología Basada en Zonas de Vida. Life zones ecology. San José Costa Rica: Libros y Materiales Educativos. IICA. 216 p
 18. Instituto de Estudios Urbanos IEU. (2011). Clima Bogotá. Recuperado de: <http://institutoestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0116-clima/index.htm>
 19. IPCC. (1996). Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. 92p
 20. IPCC. (2005). Carbon Dioxide Capture and Storage, Special Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change. UK : Cambridge University Press. 431 p.
 21. IPCC. (2007). Cambio climático, Informe de síntesis Informado del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 104 p.
 22. Jardín Botánico José Celestino Mutis. (2007). Plan Local de Arborización Urbana- Localidad de Puente Aranda. Bogotá D. C.: Jardín Botánico José Celestino Mutis. 140 p.
 23. Laumonier, Y., Edin, A., Kanninen, M., & Munandar, A. W. (2010). Landscape variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra Implications for carbon stock assessments. *Forest Ecology and Management*, 259 (3), 505-513.
 24. Modi, V. (2005). Improving electricity services in rural India. CGSD Working .30
 25. Observatorio Ambiental de Bogotá. (2012) Recuperado de: <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=I&id=156&v=#>
 26. Odum, H. (1995). Tropical forest systems and the human economy in Tropical Forests: Management and Ecology. Ecological Studies .Vol. 112, ed. by A.E. Lugo and C. Lowe. Springer-Verlag, NY. pp. 343-393
 27. Ospina, B. D. (2001). Introducción al Muestreo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 263 p.
 28. Rangel, C. & Velásquez, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación: Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia, 59-87.
 29. Rodríguez, J. C. (1989). Consideraciones sobre la Biomasa, Composición Química y Dinámica del Bosque Pluvial Tropical de Colinas Bajas, Bajo Calima Buenaventura, Colombia. HOLLANDA, Bogotá: Convenio CONIF. 36 p.
 30. Russo, A. R. O. (1983). Mediciones de Biomasa en Sistemas Agroforestales. Turrialba: CATIE, Turrialba (Costa Rica). Departamento de Recursos Naturales Renovables. 27 p.
 31. Salud Capital. (2005). Diagnóstico Local con participación social, Puente Aranda. Bogotá: Secretaría Distrital de Salud. 186 p.
 32. Secretaría Distrital de Planeación (2009). Conociendo la Localidad de Puente Aranda: Diagnóstico de los aspectos físicos y socioeconómicos. Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación. 140 p.
 33. Secretaria Distrital de Ambiente. (2011). Informe de Avance Programa Distrital de Acción frente al Cambio Climático Línea Base Bogotá GEI, escenarios emisiones referente 2008, proyecciones 2019, 2038 y 2050 de Bogotá D.C. Bogotá: Secretaria Distrital de Ambiente. 37p
 34. Siegel, S., & Castellan, J. N. (1988). Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York.: Second Edition. McGraw-Hill Book Company. 399 p.
 35. Sturges, H. (1926). The choice of a class interval. *J. Amer Statist Assoc*, 21, 65–66.
 36. Urquiza-Haas, T., Dolman, P. M., & Pérez, C. A. (2007). Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*, 247: 80-90.
 37. Vallejo, J., Londoño, M. I., López, A. C., Galeano, G., Alvarez, E., & Devia, W. (2005). Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 310 p.
 38. Villareal, H., Alvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., & Fagua, G. (2004). Manual de Métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Bogotá – Colombia: Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236 p.
 39. Wittmann, F., Zorzi, B. T., Tambelini, F. A., Santiago, M. V., Faria, R. R., Machado, N., & otros. (2008). Tree Species

- Composition, Structure and Aboveground Wood Biomass of a Riparian Forest of the Lower Miranda River, Southern Pantanal, Brazil, *Folia Geobotanica.*, 43 (4), 397-411.
40. Yepes, A.P., Navarrete, D.A., García, M.C., Álvarez, E., Cabrera, E., Cárdenas, D., Galindo, G., Ordóñez, M.F., Rodríguez, M.L., Vargas, D.M. Phillips, J.F., Duque, A.J., & Cabrera, K.R., (2011). Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. 16 p.
41. Zuñiga, F. B., Palacio, J., & Gonzalez, H. (2011). Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales segunda edición . Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. México: Universidad Autónoma de México. 770 p.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Anexos

Anexos:

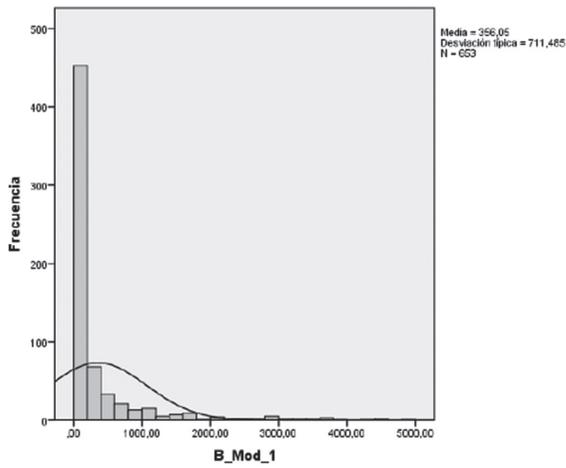


Figura 1. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 1

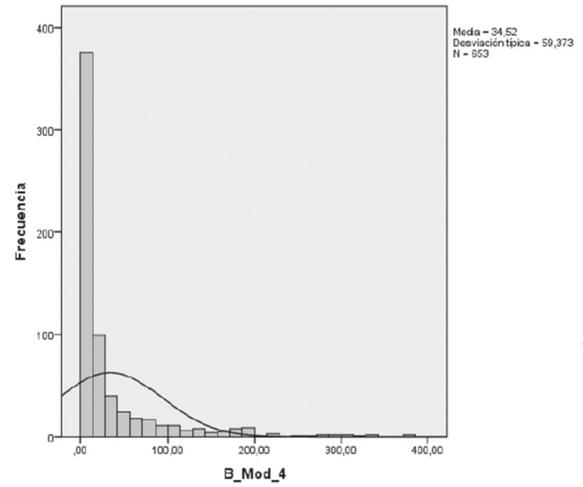


Figura 4. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 4

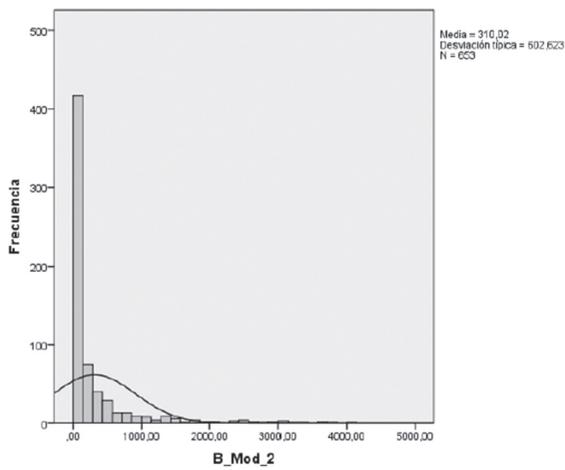


Figura 2. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 2

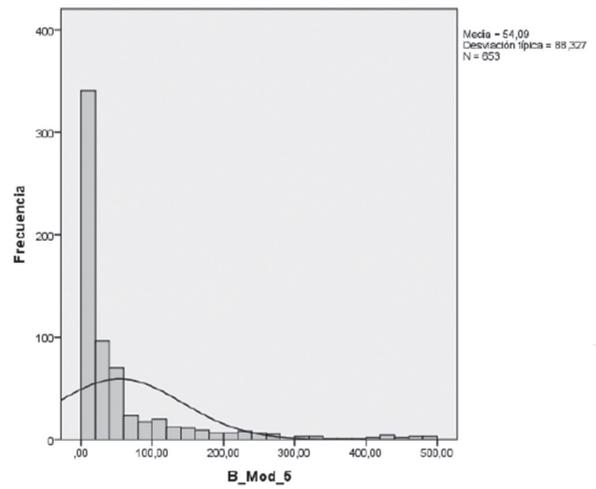


Figura 5. Histograma Biomasa Kg /ha⁻¹ Modelo 5

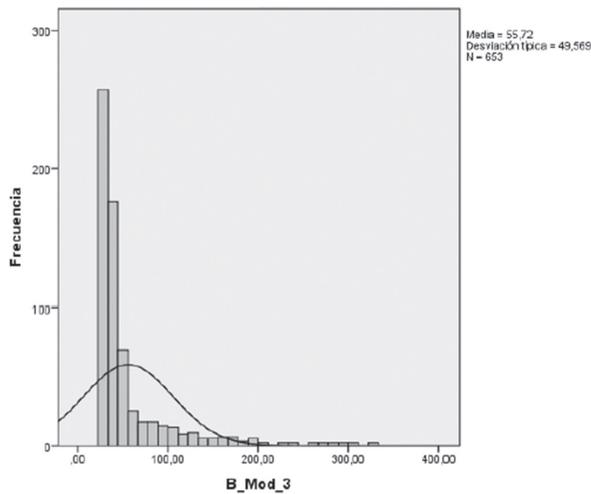


Figura 3. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 3

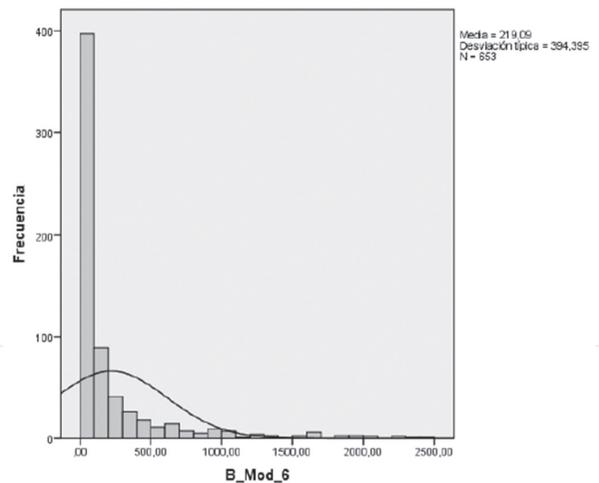


Figura 6. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 6

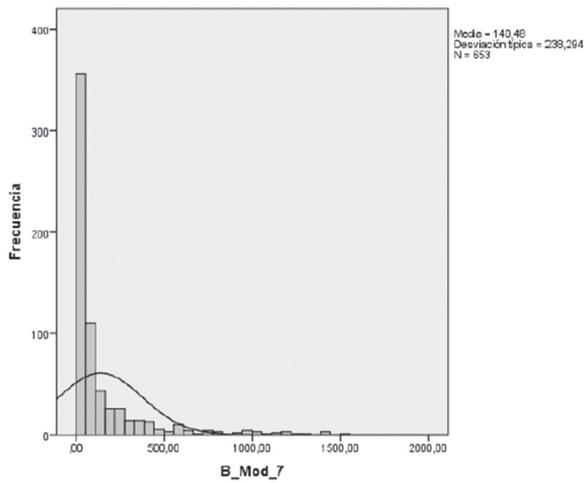


Figura 7. Histograma Biomasa Kg.ha⁻¹ Modelo 7

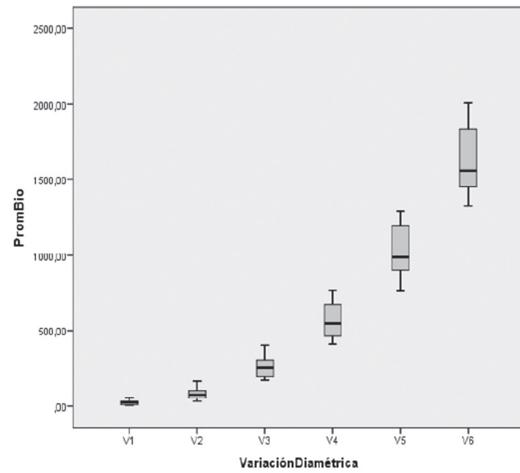


Figura 10. Diagrama de cajas diferencias significativas entre la Biomasa (kg/ha⁻¹) y la variación diamétrica especie de la *Ficus soatensis*

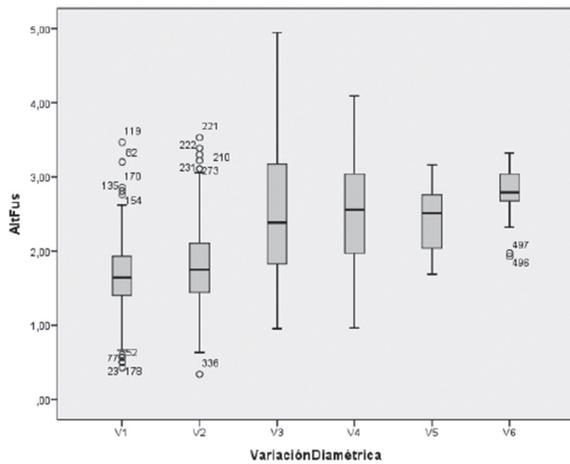


Figura 8. Diagrama de cajas de diferencias significativas entre la Altura(m) y la variación diamétrica de la especie *Ficus soatensis*

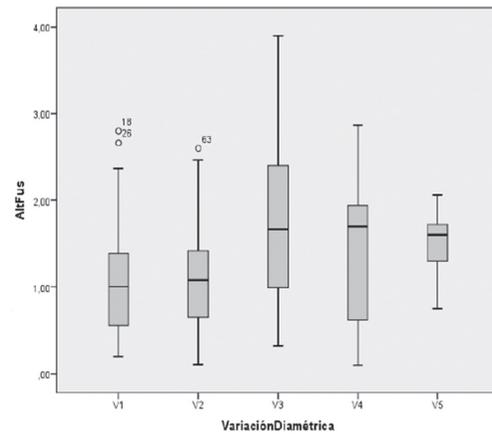


Figura 11. Diagrama de cajas diferencias significativas entre las alturas (m) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

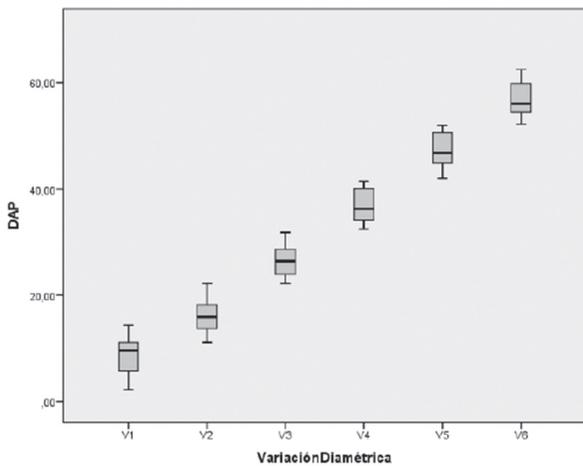


Figura 9. Diagrama de cajas diferencias significativas entre el DAP(cm) y la variación diamétrica de la especie *Ficus soatensis*

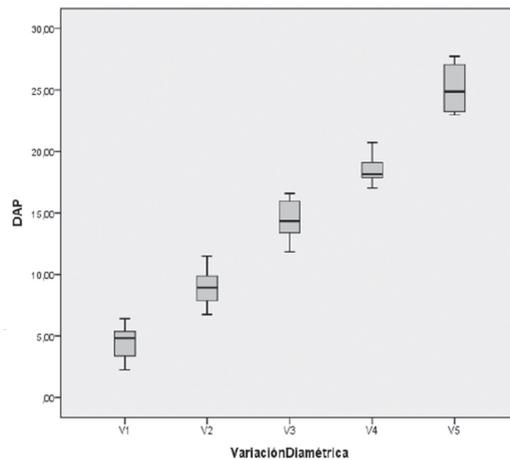


Figura 12. Diagrama de cajas diferencias significativas entre los DAP (cm) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

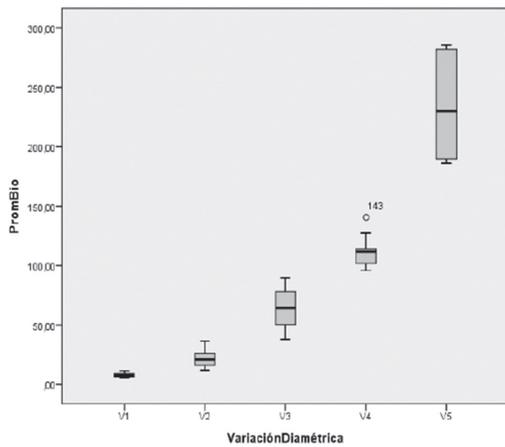


Figura 13. Diagrama de cajas diferencias significativas ente la Biomasa (kg/ha^{-1}) y la variación diamétrica de la especie *Tecoma stans*

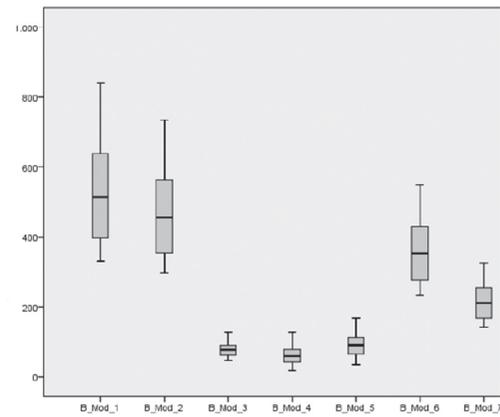


Figura 16. Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg) de los siete modelos en Clase Diamétrica III de la especie *Ficus soatensis*

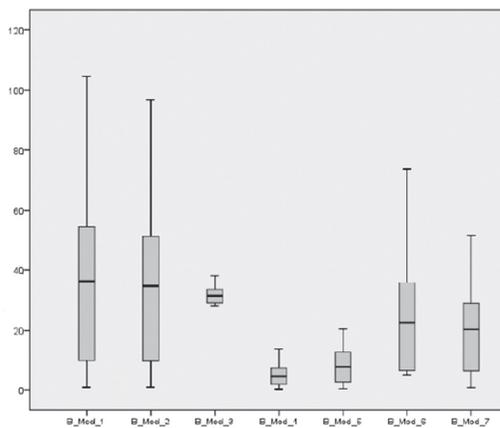


Figura 14. Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg/ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas I de la especie *Ficus soatensis*

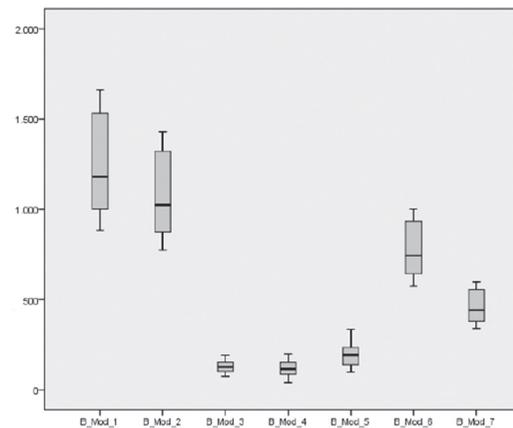


Figura 17. Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg) de los siete modelos en Clase Diamétrica IV de la especie *Ficus soatensis*

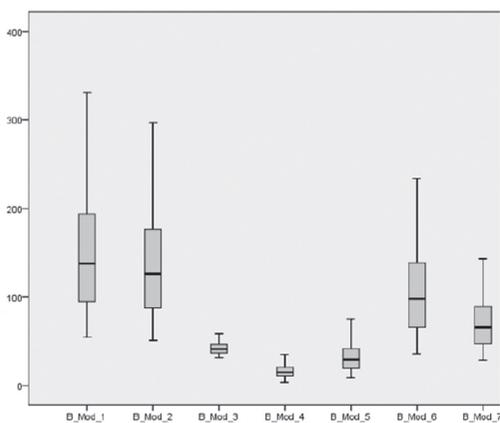


Figura 15. Diagrama de Bigotes. Biomasa (kg/ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas II de la especie *Ficus soatensis*

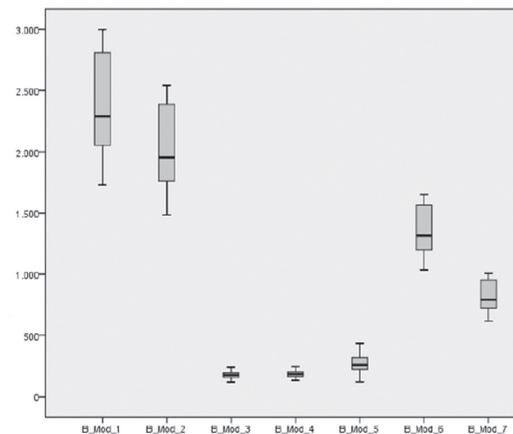


Figura 18. Diagrama de Bigotes. Biomasa ($\text{Kg}.\text{ha}^{-1}$) de los siete modelos en Clases Diamétricas V de la especie *Ficus soatensis*

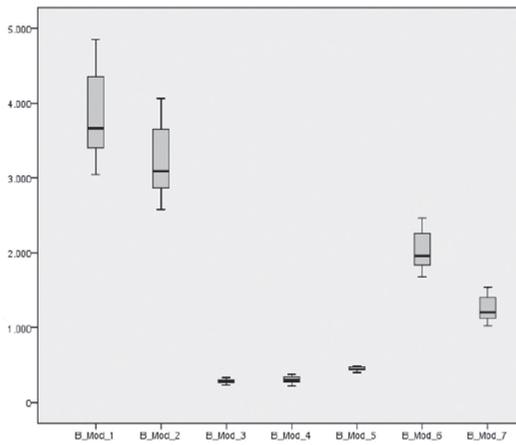


Figura 19. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas VI de la especie *Ficus soatensis*

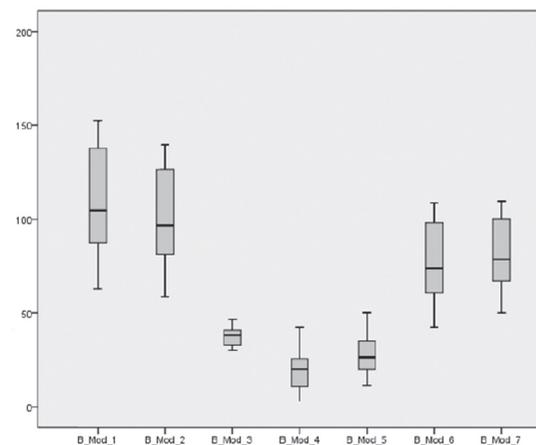


Figura 22. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas III de la especie *Tecoma stans*

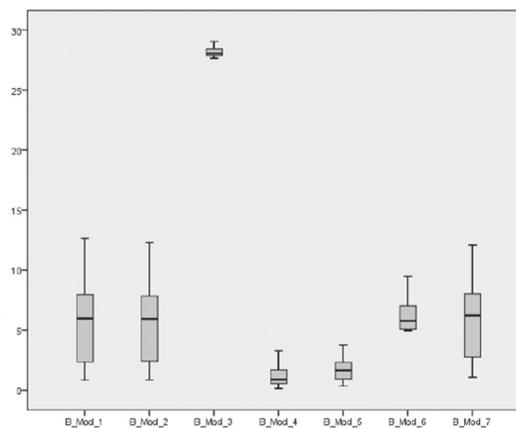


Figura 20. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas I de la especie *Tecoma stans*

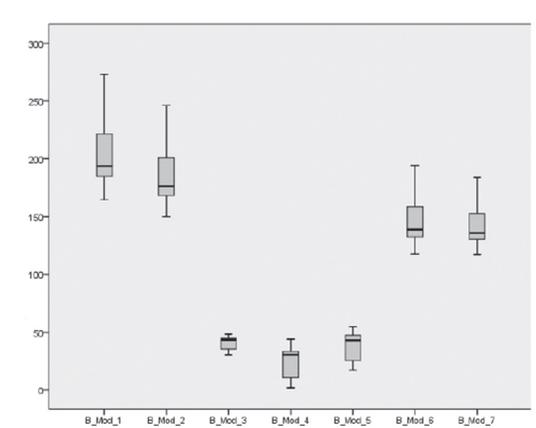


Figura 23. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas IV de la especie *Tecoma stans*

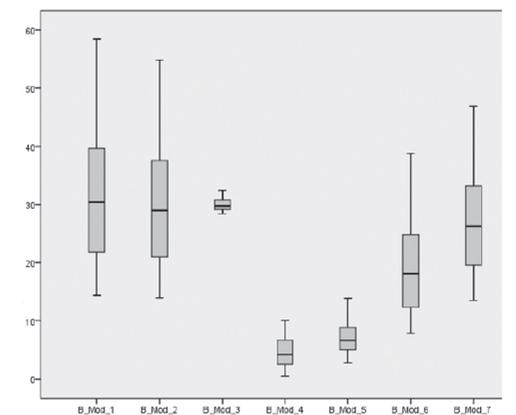


Figura 21. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas II de la especie *Tecoma stans*

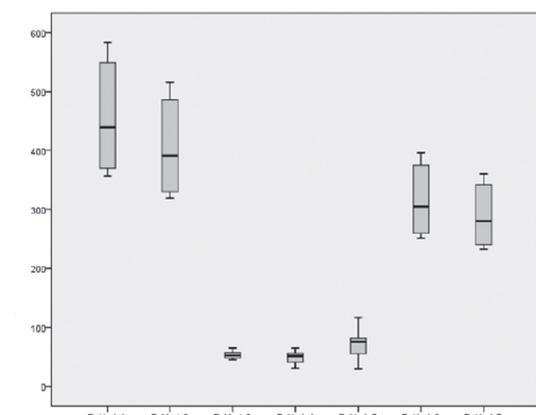


Figura 24. Diagrama de Bigotes. Biomasa (Kg.ha^{-1}) de los siete modelos en Clases Diamétricas V de la especie *Tecoma stans*

Tabla 1. Normalidad en los errores (frecuencias)

Distribución de frecuencias para uhat6, observaciones 1- 653				
Numero de cajas = 25, medida -0, 0293893, desv. tip. =0,289727				
Intervalo	punto medio	frecuencia	rel	acum
< -0, 66488	-0, 70189	2	0, 31%	0, 31 %
-0, 66488 - -0, 59088	-0, 62788	13	1, 99%	2, 30 %
-0, 59088 - -0, 51687	-0, 55387	12	1, 84%	4, 13 %
-0, 51687 - -0, 44287	-0, 47987	29	4, 44%	8, 58 % *
-0, 44287 - -0, 36886	-0, 40586	20	3, 06%	11, 64 % *
-0, 36886 - -0, 29485	-0, 33186	25	3, 83%	15, 47 % *
-0, 29485 - -0, 22085	-0, 25785	37	5, 67%	21, 13 % **
-0, 22085 - -0, 14684	-0, 18385	98	15, 01 %	36, 14 % *****
-0, 14684 - 0, 072838	-0, 10984	84	12, 86 %	49, 00 % ****
-0, 072838 - 0, 0011678	-0, 035835	58	8, 88%	57, 89 % ***
0, 0011678 - 0, 075173	0, 038171	51	7, 81%	65, 70 % **
0, 075173 - 0, 14918	0, 11218	55	8, 42%	74, 12 % ***
0, 14918 - 0, 22318	0, 18618	47	7, 20%	81, 32 % **
0, 22318 - 0, 29719	0, 26019	31	4, 75%	86, 06 % *
0, 29719 - 0, 37120	0, 33419	32	4, 90%	90, 96 % *
0, 37120 - 0, 44520	0, 40820	14	2, 14%	93, 11 %
0, 44520 - 0, 51921	0, 48220	22	3, 37%	96, 48 % *
0, 51921 - 0, 59321	0, 55621	12	1, 84%	98, 32 %
0, 59321 - 0, 66722	0, 63022	4	0, 61%	98, 93 %
0, 66722 - 0, 74122	0, 70422	1	0, 15%	99, 08 %
0, 74122 - 0, 81523	0, 77823	2	0, 31%	99, 39 %
0, 81523 - 0, 88924	0, 85223	2	0, 31%	99, 69 %
0, 88924 - 0, 96324	0, 92624	0	0, 00%	99, 69 %
0, 96324 - 1, 0372	1, 0002	1	0, 15%	99, 85 %
>= 1, 0372	1, 0742	1	0, 15%	100, 00 %

Contraste de la hipótesis nula de distribución normal:
Chi-cuadrado (2) = 11, 685 con valor p 0, 00290

H_0 = Los errores siguen una distribución normal

H_i = Los errores NO siguen una distribución normal

Según los siguientes estadísticos Chi-cuadrado(2) = 11.685 con valor p 0,00290, NO se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los errores siguen una distribución normal.