

Calculo de los coeficientes de ahusamiento y de forma de las especies Canalete (*Jacaranda copaia*. Aubl. D. Don). y Morochillo (*Mminutiflora Bonpl. DC*), en un bosque del Jardín Botánico Tropical Amazónico del municipio de Mocoa

Calculation of the taper and shape coefficients of the Canalete species (*Jacaranda copaia*, aubl, d.don). and Morochillo (*Mminutiflora Bonpl. DC*), in a forest of the Amazon Tropical Botanical Garden in the municipality of Mocoa

Paola Ortegata
Wisner Pantoja
*Luis Alexander Escobar Ramírez¹

PALABRAS CLAVE

Coeficiente correlación, Área basal, ahusamiento, regresión lineal, coeficiente de Pearson, distribución diamétrica.

KEYWORDS

Correlation coefficient, basal area, taper, linear regression, Pearson coefficient, diametric distribution.

RESUMEN

El cálculo volumétrico de los árboles tropicales, se ha constituido en un problema que aún no se ha logrado resolver completamente, por cuanto existen diferentes aspectos que inducen al técnico a cometer errores en el momento de realizar el inventario forestal, ya sea por la falta de instrumentación de precisión, por la dificultad de observación del árbol en su integridad, desde el ápice hasta la base y especialmente por la falta de coeficientes de ahusamiento y ecuaciones halométricas confiables. En la región tropical se presentan una gran variabilidad de ahusamientos y formas de los fustes, que dificultan aplicar con precisión formulas volumétricas regionales y cuyos resultados son la fuente de un alto grado de incertidumbre.

La investigación se direccionó hacia la estimación y cálculo de los coeficientes de forma y ahusamiento de las especies Canalete (*Jacaranda copaia*) y Morochillo (*Miconia miutiflora*), localizados en el jardín Botánico Tropical Amazónico, obteniendo la información directamente del árbol en pie, mediante el escalamiento de cada árbol muestreado y midiendo cada variable requerida para la investigación como diámetro y altura cada dos metros. Esta investigación es la continuación de un proceso iniciado por

el Programa de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico del Putumayo, tendiente a determinar los coeficientes de forma y curvas de ahusamiento de las

especies comerciales identificadas por Corpoamazonia en el departamento del Putumayo.

ABSTRACT

The volumetric calculation of tropical trees has become a problem that has not yet been fully resolved, as there are different aspects that induce the technician to make mistakes at the time of making the forest inventory, either due to the lack of precision instrumentation, due to the difficulty of observing the tree in its entirety, from the apex to the base and especially for the lack of taper coefficients and reliable halometric equations. In the tropical region there is a great variability of tapers and forms of the trunks, which make it difficult to apply with precision regional volumetric formulas and whose results are the source of a high degree of uncertainty.

The research was directed towards estimation and calculation of the shape and taper coefficients of the species Canalete (*Jacaranda copaia*) and Morochillo (*Miconia miutiflora*), located in the Amazon Tropical Botanical Garden, obtaining the information directly from the standing tree, by scaling each tree sampled and measuring each variable required for the investigation as diameter and height every two meters. This investigation is the continuation of a process initiated by the Forest Engineering Program of the Putumayo Technological Institute, aimed at determining the shape coefficients and

¹ Profesor Asociado Instituto Tecnológico del Putumayo. Programa de Ingeniería Forestal. Director y Asesor de la Investigación. Diciembre de 2018.

taper curves of the commercial species identified by Corpoamazonia in the department of Putumayo

INTRODUCCION

Las especies (*Jacaranda copaia*) y (*Miconia minutiflora*) son especies consideradas en la Amazonia Colombiana como especies promisorias en la industria maderera y con amplia distribución en América Latina. Estas especies son dominantes en las dos fases de la sucesión vegetal, alcanzando diámetros hasta de 1 metro en tan solo 25 años de edad, según observaciones reportada en el bosque del Jardín Botánico Tropical Amazónico. Durante la última década han sido sometidas a una sobreexplotación para aprovechar su madera, que, aunque no es de buena calidad, se ha convertido en unas especies de gran importancia en la cadena forestal del departamento del Putumayo.

El conocimiento de las estimaciones volumétricas de estas especies es limitado, se carece de ecuaciones halométricas desarrolladas de manera local y específica y esporádicamente se utilizan en los inventarios forestales de la región, aun desconociendo su fundamentación estadística, por lo que resulta imperativo superar esta condición, mediante la obtención de un modelo de ahusamiento capaz de estimar volúmenes comerciales y totales, basado en procedimientos estadísticos rigurosos que posibiliten su aplicación en los inventarios forestales..

Gracias a los avances tecnológicos en biometría e informática, se han desarrollado ecuaciones para simular el perfil fustal de los árboles, desde las más simples de ahusamiento (Kozak *et al.*, 1969), hasta las polinomiales segmentadas (Bruce *et al.*, 1968); y las geométricas y trigonométricas (Parresol y Tomas, 1996); (Fang y Bailey, 1999). Esto ha permitido una notable reducción en costos y tiempo, sin menoscabo de la precisión de sus estimadores, se carece de un modelo que explique adecuadamente la variación de la forma del fuste (Newnham, 1998), dado que es un factor muy complejo más aun cuando se trata de especies tropicales, muy sensibles a muchas interacciones de la dinámica forestal (Castedo, 2003) citado por Pompa G, Corral Díaz V, Martínez S,(2009).

El objetivo de las funciones de ahusamiento (o de conicidad) es estimar el diámetro del fuste a cualquier altura o encontrar la altura para un determinado diámetro, esto permite cubicar y calcular los productos a extraer. (Muller, Martin, Cabrera. Infor.Innova, 2011) .

Con la investigación se calculó los coeficientes de forma de las especies (*Jacaranda copaia*) y (*Miconia minutiflora*) los cuales se introdujeron a la fórmula general del volumen de un cilindro y los resultados volumétricos se compararon con la fórmula PRORADAN diseñada para masas forestales de la Amazonia Colombiana.

LOCALIZACION

Localización del Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Se encuentra ubicado en la zona Sur Oriental a tres (3) kilómetros del municipio de Mocoa, vía principal que conduce a la ciudad de Villagarzón, en la vereda Caliyaco, sobre la pendiente de la cordillera Andina, posee un área de 19.7 has y corresponde a zonas de colinas altas y bajas, con terrazas fuertemente disectadas, con pendientes que oscilan entre el 10 y 50%, se encuentra entre las siguientes coordenadas:

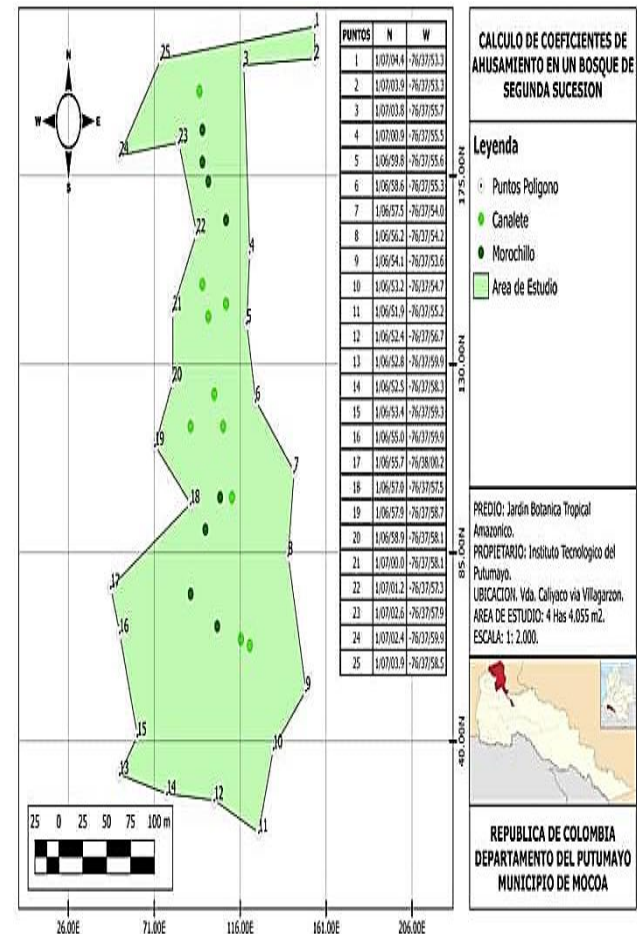
Norte Latitud 010 07 17 N y Longitud 76° 38 10 W

Sur Latitud 01° 07 05 N y Longitud 76° 38 03 W

Oriente Latitud 01° 07 17 N y Longitud 76° 37 11 W

Occidente Latitud 010 07 14 N y Longitud 76° 38 11W

Figura 1. Localización del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico



Fuente. Los autores

METODOLOGIA

Caracterización de la zona de estudio. Se realizó una caracterización del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico, relacionado especialmente a aspectos como: Localización del Jardín Botánico, aspectos

biofísicos, georreferenciación de los ejemplares de muestreo y caracterización dasométrica de dicho bosque.

Inventario forestal y tamaño de la muestra. Se realizó un inventario de **reconocimiento general**, en el que se evaluó el potencial forestal de estas dos especies. Se procedió a localizar, demarcar, codificar y georreferenciar la totalidad de árboles de Canalete (*Jacaranda copaia*) y Morochillo (*Miconia minutiflora*), presentes en el bosque de rastrojo y objeto de la investigación. Para efectos de cálculo de la muestra se procedió a la aplicación de la fórmula de muestreo $n = t^2 * CV^2 / (a)^2 = n = 100 CV^2$ (Jorge Gilchrist Leighton y Jorge Gilchrist Moreno) Universidad Central de Chile

Donde (t) es un valor estadístico de (student), para este caso se asumió un valor de 2 y un margen de confianza del 95%. El error (a) se consideró en un 10% por tratarse de un bosque intervenido. El coeficiente de variación fue de 0.30 para la especie *Miconia minutiflora* y 0.31 para la especie (*Jacaranda copaia*).

Para la determinación de las clases diamétricas y su interpretación se realizó un análisis de varianza, con el objetivo de conocer que árboles y que edades corresponden a determinado rango de clases diamétricas. Todos los árboles de (*Miconia minutiflora*) y (*Jacaranda copaia*) se inventariaron al 100% a partir de diámetros superiores a 10 cm de DAP

Localización de las arboles muestra de (*Miconia minutiflora*) y (*Jacaranda copaia*). Los arboles objeto de muestreo se codificaron de la siguiente forma (JC A1...Ax) para el (*Jacaranda caucana*) y (MMA1...Ax) para la especie (*Miconia minutiflora*). Igualmente, se georreferenciaron se ubicaron sobre una imagen satelital.

Caracterización dendrometría de la muestra. Se caracterizó dendrologicamente y dasométricamente los arboles muestra mediante la medición de: DAP, Altura total, altura comercial, altura de copa, Diámetro cada 2 metros de altura, diámetro de copa, forma de copa, espesor de copa, exposición a la luz solar, Estado fitosanitario, volumen de fuste, espesor de corteza. Los árboles de muestreo cumplieron con unas condiciones fitosanitarias buenas, una buena calidad de fuste y sin inclinaciones.

Tablas, curvas de ahusamiento y coeficientes de forma
Para la investigación se utilizó un método no destructivo de los árboles, mediante el escalamiento de cada árbol muestreado y realizando mediciones de diámetros cada 2 metros de altura incluyendo DAP, altura de DAP, Altura y diámetro a 5 metros, diámetro a la mitad del fuste comercial y altura comercial. Con base a estas variables se graficó las diferentes curvas de ahusamiento.

Para el cálculo de los coeficientes de forma se aplicó las siguientes formulas:

- Cociente Normal de Shiffel: Diámetro a ½ de la altura Total / DAP
- Cociente absoluto de forma de Jhonson: Diámetro a ½ de Altura total a partir de 1.30 / DAP.
- Cociente de Schuber y Schiffel: Diámetro (X) a cualquier altura/ DAP.
- Clase de forma. Diámetro sin corteza a 5 metros/ DAP con corteza.

Estimación y comparación de volúmenes comerciales con los coeficientes de forma calculados. Una vez calculado los coeficientes de forma de estas dos especies se aplicó en la fórmula del volumen, dicho coeficiente y se obtuvo los volúmenes de madera tanto para la muestra como la población, los cuales se compararon con la formula Proradan. $V = 0.785 \{0.97983 - (0.08471 * D) - (0.011327 * H)\} (D * H)^2$

Análisis de regresión lineal y correlación. Debido a que los arboles muestra en las dos especies presentaron diferentes alturas de fuste se clasificó por categorías de altura a los cuales se les realizó un análisis de regresión y para determinar la relación entre el diámetro y la altura. Se determinó el coeficiente de correlación y determinación, incluyendo la fórmula para cálculo de diámetros a cualquier altura, para cada tipo de altura de fuste.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DIÁMETRO Y ALTURA DE LA ESPECIE CANALETE (*Jacaranda copaia*)

Se aplicó el coeficiente de correlación de **Pearson (r)**, procesado en Excel, aplicando las siguiente categoria:

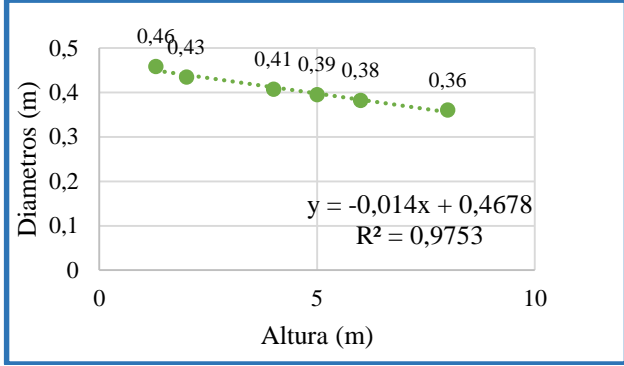
- r = -1 indica una correlación inversa perfecta.
- -1 < r < 0 indica una correlación inversa.
- r = 0 indica que no hay correlación.
- 0 < r < 1 existe una correlación directa.
- r = 1 existe una correlación directa perfecta

Tabla 1 Datos de campo de 10 árboles de la especie (*Jacaranda copaia*)

Nombre Científico	DAP	Alturas		AREA		VOL	VOL	DIÁMETROS CMS										Doble espesor
		Total	Com	BASAL	TOTAL			COVER	2	4	5	6	8	10	12	14	16	
Jacaranda copaia	0,318	22	17	0,079	1,157	0,984	0,290	0,277	0,267	0,259	0,242	0,232	0,216	0,202	0,191	0,018		
Jacaranda copaia	0,331	24	16	0,085	1,308	1,018	0,318	0,302	0,299	0,296	0,280	0,267	0,258	0,245	0,239	0,017		
Jacaranda copaia	0,331	20	14	0,085	1,182	0,933	0,325	0,309	0,306	0,290	0,274	0,261	0,248	0,232	0,018			
Jacaranda copaia	0,318	23	17	0,079	1,185	0,984	0,312	0,302	0,299	0,286	0,271	0,255	0,242	0,226	0,213	0,018		
Jacaranda copaia	0,321	19	12	0,081	1,080	0,773	0,315	0,306	0,299	0,283	0,271	0,258	0,245		0,016			
Jacaranda copaia	0,404	17	10	0,127	1,571	1,043	0,401	0,395	0,385	0,376	0,360	0,347			0,016			
Jacaranda copaia	0,398	21	14	0,123	1,749	1,324	0,392	0,379	0,372	0,369	0,357	0,341	0,325	0,309	0,02			
Jacaranda copaia	0,376	15	8	0,110	1,245	0,746	0,363	0,347	0,337	0,331	0,310				0,014			
Jacaranda copaia	0,541	13	8	0,228	2,277	1,523	0,506	0,458	0,452	0,433	0,411				0,016			
Jacaranda copaia	0,321	18	14	0,081	1,043	0,871	0,315	0,299	0,290	0,283	0,271	0,258	0,245	0,236	0,018			
	0,366						0,354	0,338	0,330	0,321	0,304	0,277	0,254	0,241	0,214			

Fuente. Los autores

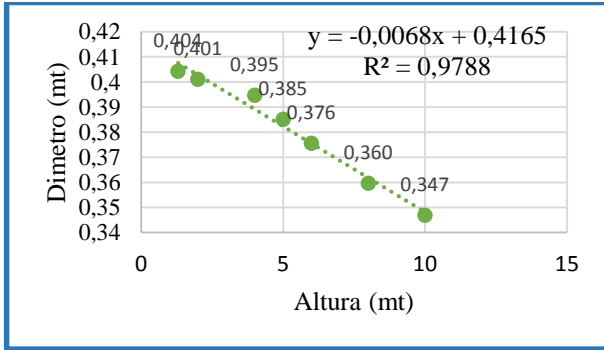
Grafica 1. Correlación de las variables diámetro con la altura, para 2 árboles, con fustes de 8 metros.



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,014X + 0,4678$
 Coeficiente de correlación (r): -0,9876
 Coeficiente de determinación (R^2): 0,9753, significa que el 97% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 8 m de altura de la especie (*Jacaranda copaia*) se debe a incrementos de la altura.

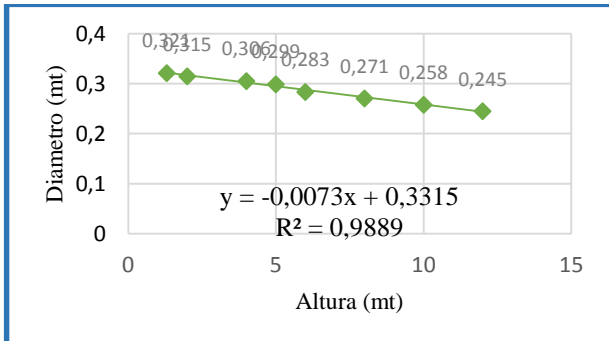
Grafica 2. Correlación de las variables diámetro con la altura, para 1 árbol, con fuste de 10 metros.



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0068X + 0,4165$
 Coeficiente de correlación (r): -0,9894
 Coeficiente de determinación (R^2): 0,9788 significa que el 97% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 10 metros de altura de la especie (*Jacaranda copaia*) se debe a los incrementos de la altura.

Grafica 3. Correlación de la variable diámetro con la altura, para 1 árbol, con fuste de 12 metros

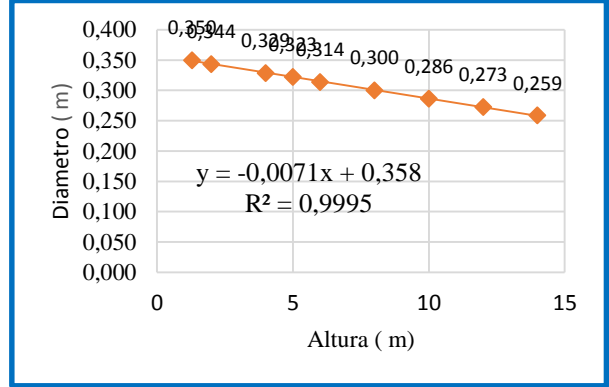


Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0073X + 0,3315$

Coeficiente de correlación (r): -0,9944
 Coeficiente de determinación (R^2): 0,9889 significa que el 98% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 12 metros de la especie (*Jacaranda copaia*) se debe a los incrementos de la altura.

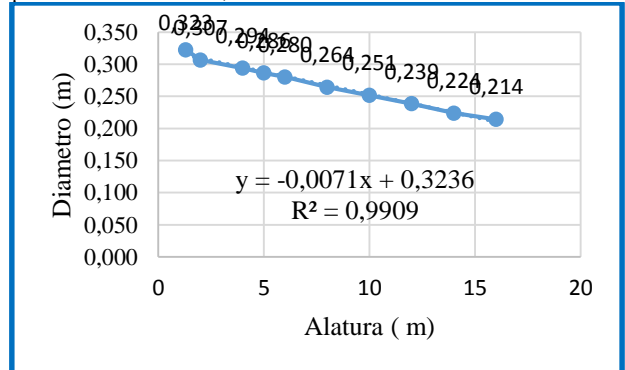
Grafica 4. Correlación de la variable diámetro con la altura, para tres árboles, con fuste de 14 metros



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0071X + 0,358$
 Coeficiente de correlación (r): -0,999726
 Coeficiente de determinación (R^2): 0,9995 significa que el 99% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 14 metros de la especie (*Jacaranda copaia*) se debe a los incrementos de la altura.

Grafica 5. Correlación de la variable diámetro con la altura, para el promedio de tres árboles, con fustes de 16 metros.



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0071X + 0,3236$
 Coeficiente de correlación (r): -0,9954
 Coeficiente de determinación (R^2): 0,9909 significa que el 99% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 16 metros de la especie (*Jacaranda copaia*) se debe a los incrementos de la altura.

Tabla. 2 Resumen de Coeficientes de correlación y determinación para arboles con fustes de 8, 10, 12, 14, 16 metros de altura de la especie (*Jacaranda copaia*).

Alturas de fustes	8	10	12	14	16
Coefficiente de Correlación (r_c)	-0,988	-0,989	-0,994	-0,999	-0,995
Coefficiente de determinación (r^2)	0,975	0,979	0,989	0,999	0,990
Clasificación de correlación	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa

Fuente. Los autores

Coefficientes de forma de la especie (*Jacaranda copaia*).

Se consideró cuatro métodos para cálculo del coeficiente de forma: Coeficiente de forma de Schuber y Schiffel, cociente absoluto de Jhonson, coeficiente normal de Schiffel, y Clase de forma

Tabla 3. Cocientes de forma según Schuber y Schiffel para diferentes diámetros y alturas en (*Jacaranda copaia*).

ARBOL	DAP (cm)	Di a (X) Altur	Altura (m)				
			8	10	12	14	16
1	0,318	0,232 (10m)					0,72
2	0,331	0,267 (10m)					0,81
3	0,331	0,274 (8m)				0,82	
4	0,318	0,255 (10m)					0,80
5	0,321	0,271 (8m)			0,84		
6	0,404	0,395 (4m)	0,97				
7	0,398	0,341 (10m)				0,90	
8	0,376	0,337 (5m)	0,89				
9	0,541	0,452 (5m)	0,83				
10	0,321	0,258 (10m)				0,80	
Promedio			0,86	0,97	0,84	0,84	0,77

Fuente. Lo autores

Media: 0,85

Varianza: 0,00525

Desviación estándar: 0,072

Tabla 4 Cocientes absolutos de forma según Jhonson para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Jacaranda copaia*).

Arbol	DAP(m)	Di H/2 a partir del DAP	Altura (m)				
			8	10	12	14	16
1	0,318	0,246					0,77
2	0,331	0,284					0,85
3	0,331	0,286				0,86	
4	0,318	0,274					0,86
5	0,321	0,291			0,906		
6	0,404	0,390	0,96				
7	0,398	0,360				0,90	
8	0,376	0,355	0,94				
9	0,541	0,487	0,90				
10	0,321	0,274				0,85	
Promedi			0,92	0,96	0,91	0,86	0,83

Fuente. Los autores

Media: 0.9

Varianza: 0,00265

Desviación estándar: 0,051

Tabla 5. Cocientes normales de SCHIFFEL para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Jacaranda copaia*).

ARBOL	DAP cm	Di H/2 de fuste	Altura (m)				
			8	10	12	14	16
1	0,318	0,242					0,76
2	0,331	0,280					0,84
3	0,331	0,282				0,85	
4	0,318	0,271					0,85
5	0,321	0,283			0,88		
6	0,404	0,385		0,95			
7	0,398	0,357				0,89	
8	0,376	0,347	0,92				
9	0,541	0,468	0,86				
10	0,321	0,271				0,84	
Promedio			0,89	0,95	0,88	0,86	0,82

Fuente. Los autores

Media: 0,88

Varianza: 0,00225

Desviación estándar: 0,047

Tabla 6. Clase de forma para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Jacaranda copaia*).

ARBOL	DAP cm	Di a 5m SC	Altura				
			8	10	12	14	16
1	0,318	0,252					0,792
2	0,331	0,284					0,857
3	0,331	0,289				0,874	
4	0,318	0,276					0,869
5	0,321	0,284			0,885		
6	0,404	0,370		0,915			
7	0,398	0,353				0,888	
8	0,376	0,324	0,863				
9	0,541	0,439	0,811				
10	0,321	0,274				0,853	
Promedio			0,837	0,915	0,885	0,872	0,839

Fuente. Los autores

Media: 0.87

Varianza: 0,0011

Desviación estándar: 0,033

Tabla 7. Coeficiente de forma promedio por altura de fuste, de la especie (*Jacaranda copaia*).

Altura(m)	Coef. Schuber-Schiffel	Jhonson	Schiffel	Cl.Forma	Coef.
					Prom/altura
8 m	0,86	0,92	0,89	0,84	0,88
10 m	0,97	0,96	0,95	0,92	0,95
12 m	0,84	0,91	0,88	0,89	0,88
14 m	0,84	0,86	0,86	0,87	0,86
16 m	0,77	0,83	0,82	0,84	0,81
Suma	4,28	4,48	4,40	4,35	
Media	0,86	0,90	0,88	0,87	

Fuente. Los autores

Según la tabla 7, fustes de (*Jacaranda copaia*) con 10 metros de altura presentaron el mayor coeficiente promedio de 0,95 e indica una mayor tendencia a conformar fustes cilíndricos, mientras que los fustes con 8, 12, 14 y 16 metros presentan menor valor de coeficiente de forma con un mayor ahusamiento y la diferencia entre estos últimos coeficientes no supera 0,05. Mientras que con el mayor coeficiente la diferencia es de 0,14, lo cual es atribuible a una mayor competencia por la luz, de los árboles de mayor altura, que sobrepasan el dosel superior.

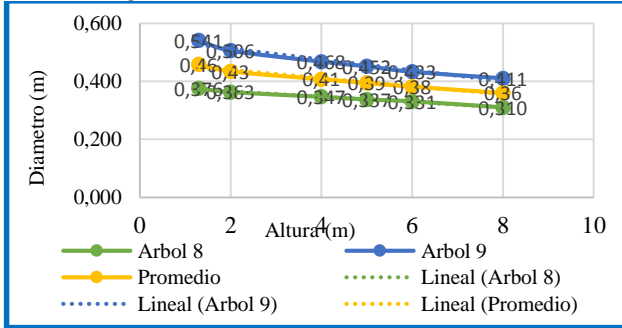
Tabla 8. Coeficientes de forma para 10 árboles de (*Jacaranda copaia*), del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico.

ARBOL	Cociente de forma de Schuber y Schiffel	Cociente normal de Schiffel	Cociente absoluto de forma de Johnson	Clase de forma
1	0,72	0,76	0,77	0,792
2	0,81	0,84	0,85	0,857
3	0,82	0,85	0,86	0,874
4	0,8	0,85	0,86	0,869
5	0,84	0,88	0,906	0,885
6	0,97	0,95	0,96	0,915
7	0,90	0,89	0,9	0,888
8	0,89	0,92	0,94	0,863
9	0,89	0,86	0,9	0,811
10	0,80	0,84	0,85	0,853
Promedio	0,84	0,86	0,88	0,86

Fuente. Los autores

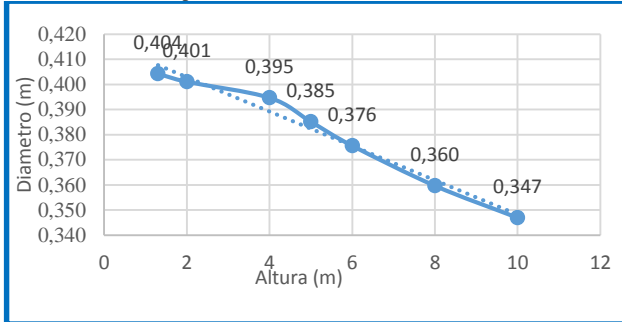
CURVAS DE AHUSAMIENTO DE LA ESPECIE (*Jacaranda copaia*).

Grafica 6. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 8 metros, (*Jacaranda copaia*).



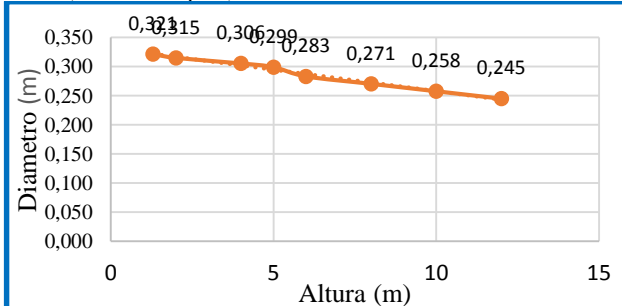
Fuente. Los autores

Grafica 7. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 10 metros de altura, (*Jacaranda copaia*).



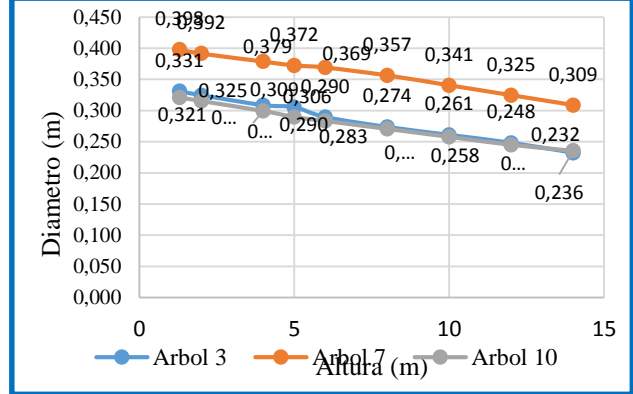
Fuente. Los autores

Grafica 8. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 12 metros de altura, (*Jacaranda copaia*).



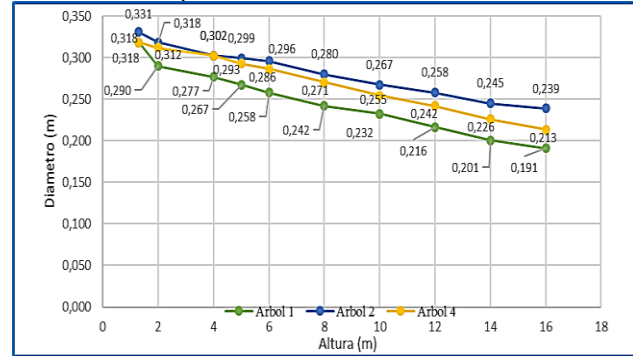
Fuente. Los autores

Grafica 9. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 14 metros de altura, (*Jacaranda copaia*).



Fuente. Los autores

Grafica 10. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 16 metros de altura, *Jacaranda copaia*



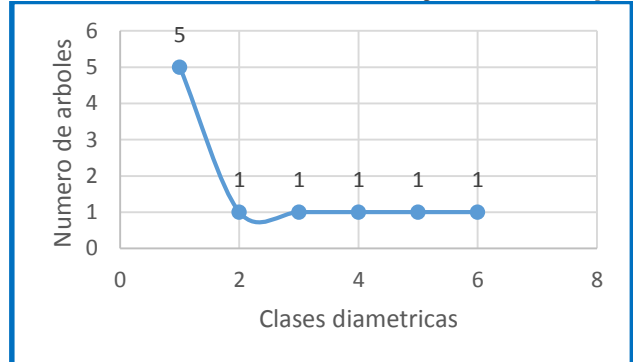
Fuente. Los autores

Tabla 9. de Distribución diamétrica de la especie (*Jacaranda copaia*).

Intervalos	Marca de Clase	Frecuencia Fi
(31,8-35,51)	33,65	5
(35,52 -39,22)	37,37	1
(39,23-42,93)	41,08	1
(42,94-46,64)	44,79	1
(46,65-50,35)	48,5	1
(50,36-54,1)	52,23	1

Fuente Los autores.

Grafica 11. Curva de distribución diamétrica, especie (*Jacaranda copaia*)



Fuente. Los autores

CALCULO DE VOLUMEN CON COEFICIENTES DE FORMA Y FORMULA GENERAL (Jacaranda copaia)

Tabla 10. Calculo de volumen de 10 árboles de (*Jacaranda copaia*), utilizando diferentes coeficientes de forma, calculados por diferentes métodos.

No.	DAP	Alturas			VOL. PRORADAM m ³	Vol (Schuber	Vol.	Vol Schiffel	Vol Cl.
		Total	Com	BASAL		Schifel) m ³ (C.F = 0,84)	Jhonson m ³ (c.f.= 0,86)	m ³ (c.f 0,88)	Forma m ³ (cl. F =0,86)
1	0,318	22	17	0,079	0,984	1,129	1,155	1,182	1,155
2	0,331	24	16	0,085	1,018	1,149	1,176	1,204	1,176
3	0,331	20	14	0,085	0,923	1,005	1,029	1,053	1,029
4	0,318	23	17	0,079	0,984	1,129	1,155	1,182	1,155
5	0,321	19	12	0,081	0,773	0,813	0,832	0,851	0,832
6	0,404	17	10	0,127	1,043	1,071	1,096	1,122	1,096
7	0,398	21	14	0,123	1,324	1,452	1,487	1,521	1,487
8	0,376	15	8	0,110	0,746	0,739	0,757	0,775	0,757
9	0,541	13	8	0,228	1,523	1,535	1,571	1,608	1,571
10	0,321	18	14	0,081	0,871	0,948	0,971	0,993	0,971
Total					10,190	10,969	11,230	11,491	11,230

Fuente. Lo autores

Según la **tabla 10**, el mayor volumen corresponde al método donde se aplicó el cociente normal de Schifel con 11.491 m³, y el volumen más bajo fue el que se obtuvo con la formula Proradam. Los volúmenes obtenidos con el cociente absoluto de Jhonson y clase e forma se comportaron iguales.

Tabla 11 Volumen para la población de (*Jacaranda copaia*), aplicando formula Proradan y formula con diferentes coeficientes de forma.

Vol.Comer. (PRORADAM)	Vol Comer.(m3) Schuber-Schiffel (C.F = 0,84)	Vol. Comer. (m3) Jhonson (C.f = 0,86)	Vol comer. (m3). Schiffel (C.f 0,88)	Vol comer.(m3) Cl.Forma (Cl. F =0,86)
222,454	266,229	272,567	278,906	272,567

Fuente. Los autores

La **tabla 11**, Muestra el resultado del inventario realizado a toda la población de (*Jacaranda copaia*), 184 árboles, del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico, calculado mediante la fórmula Proradan y la fórmula general del volumen aplicando diferentes coeficientes de forma, calculados en la investigación. El volumen con la formula Proradan sigue siendo el más bajo con 222.45 m³ y el más alto volumen se reporta con el cociente normal de Schiffel con 278,90 m³.

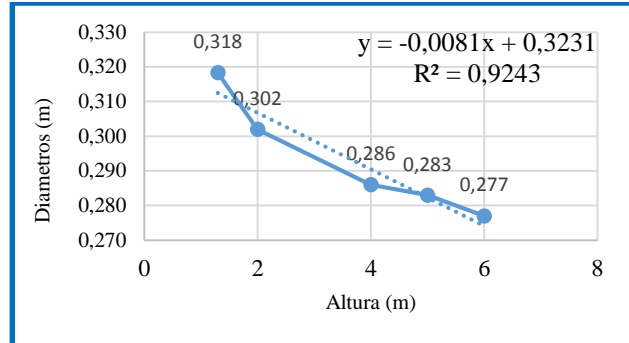
Tabla 12. Análisis de varianza para los totales volumétricos de la población de (*Jacaranda copaia*), calculados con diferentes coeficientes de forma.

Media	262,544
Error típico	10,221
Desviación estándar	22,855
Coefficiente de asimetría	-2,024
Mínimo	222,454
Máximo	278,906
Suma	1312723

Fuente. Los autores

ANALISIS DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DIÁMETRO Y ALTURA DE LA ESPECIE MOROCHILLO (*Miconia minutiflora*).

Grafica 12. Correlación de las variables diámetro con la altura, para un árbol, con fuste de 6 metros.



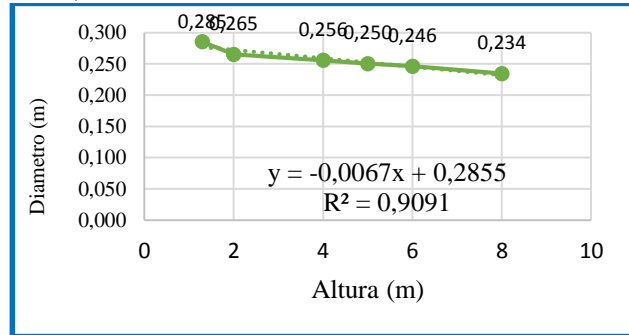
Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0081X + 0,3231$

Coefficiente de correlación (r): -0,961

Coefficiente de determinación (R^2): 0,9243 significa que el 92% de los cambios en el diámetro de los fustes comerciales de 6 m. se debe a los incrementos de la altura.

Grafica 13. Correlación de las variables diámetro con la altura, para tres árboles, con fuste de 8 metros de altura.



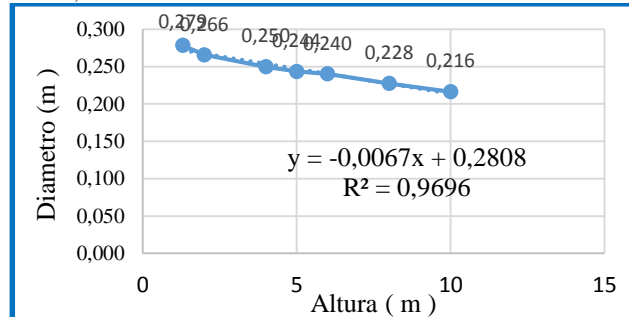
Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0067X + 0,2855$

Coefficiente de correlación (r): -0,953483162

Coefficiente de determinación (R^2): 0,9091 significa que el 90% de los cambios en el diámetro de los fustes comerciales de 8 m. se debe a los incrementos de la altura.

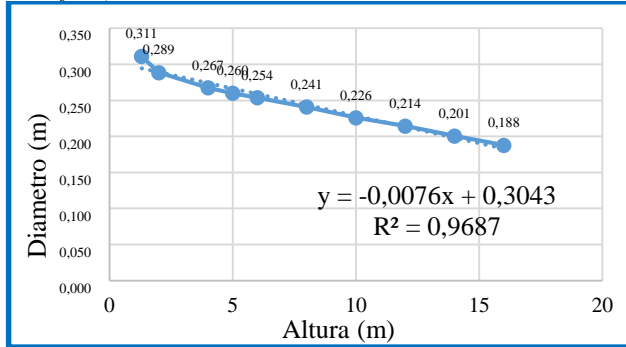
Grafica 14. Correlación de la variable diámetro con la altura, para dos árboles, con fuste de 10 metros de altura.



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0067X + 0,2808$
 Coeficiente de correlación (r): $-0,98466789$
 Coeficiente de determinación (R^2): $0,9696$ significa que el 96% de los cambios en el diámetro de los fustes comerciales de 10 metros se debe a los incrementos de la altura

Grafica 15. Correlación de la variable diámetro con la altura, para tres árboles, con fuste de 16 metros de altura de la especie (*Miconia minutiflora*).



Fuente. Los autores

Ecuación: $Y = -0,0076X + 0,3043$
 Coeficiente de correlación (r): $-0,9842051$
 Coeficiente de determinación (R^2): $0,9687$. Significa que el 96% de los cambios observados en el diámetro de los fustes comerciales de 16 metros de la especie (*Miconia minutiflora*) se debe a los incrementos de la altura.

Tabla 13. Resumen de Coeficientes de correlación y determinación para árboles con fustes de 6, 8, 10, 16 metros de altura de la especie (*Miconia minutiflora*).

Alturas de fustes	6	8	10	16
Coeficiente de Correlación (r)	-0,961	-0,9534	-0,9846	-0,9842
Coeficiente de determinación (r^2)	0,9243	0,9091	0,9696	0,9697
Clasificación de correlación	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa	Perfecta e inversa

Fuente. Los autores

COEFICIENTES DE FORMA DEL (*Miconia minutiflora*)

Tabla 14. Cocientes de forma según Schuber y Schiffel para diferentes diámetros y alturas en (*Miconia minutiflora*).

ARBOL	DAP (m)	Di a (X) Altura	6	8	10	16
1	0,258	0,226 (5m)		0,877		
2	0,325	0,223 (10m)				0,686
3	0,341	0,258 (10m)				0,757
4	0,267	0,197 (10m)				0,738
5	0,271	0,232 (6m)			0,859	
6	0,286	0,248 (6m)			0,867	
7	0,286	0,245 (5m)		0,856		
8	0,312	0,280 (5m)		0,898		
9	0,318	0,29 (4 m)	0,900			
Promedio			0,90	0,877	0,863	0,727

Fuente. Los autores

*Formula aplicada: Schuber y Schiffel = $Di (X \text{ altura}) / DAP$

Media:0.841
 Varianza: 0,006
 Desviación Estandar:0.078

Tabla 15. Cocientes absolutos de forma según Jhonson para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Miconia minutiflora*).

Arbol	DAP(m)	Di a: (Alt-DAP)/2	6	8	10	16
1	0,258	0,226		0,877		
2	0,325	0,242				0,745
3	0,341	0,273				0,802
4	0,267	0,217				0,812
5	0,271	0,239			0,883	
6	0,286	0,254			0,887	
7	0,286	0,253		0,883		
8	0,312	0,293		0,939		
9	0,318	0,298	0,93			
Promedio			0,93	0,900	0,885	0,786

Fuente. Los autores

Formula aplicada: $(\text{Altura del fuste}-DAP/2) / DAP$
 Media: 0,877
 Varianza: 0,004
 Desviación Estándar: 0.06

Tabla 16. Cocientes normales de SCHIFFEL para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Miconia minutiflora*).

Arbol	DAP (m)	Di a: (Alt/2)	6	8	10	16
1	0,258	0,226		0,877		
2	0,325	0,239				0,735
3	0,341	0,271				0,794
4	0,267	0,213				0,798
5	0,271	0,236			0,871	
6	0,286	0,251			0,878	
7	0,286	0,251		0,878		
8	0,312	0,290		0,929		
9	0,318	0,294	0,925			
Promedio			0,925	0,894	0,874	0,776

Fuente. Los autores

*Formula aplicada: Diámetro a la mitad de la altura total de fuste/ DAP
 Media: 0.867
 Varianza: 0,0041
 Desviación estándar: 0,064

Tabla 17. Clase de forma para diferentes diámetros y alturas en la especie (*Miconia minutiflora*).

ARBOL	DAP cm	Di a 5m SC	Altura	6	8	10	16
1	0,258	0,215			0,832		
2	0,325	0,242					0,746
3	0,341	0,273					0,802
4	0,267	0,224					0,839
5	0,271	0,223				0,826	
6	0,286	0,239				0,835	
7	0,286	0,233			0,814		
8	0,312	0,268			0,861		
9	0,318	0,273	0,856				
Promedio				0,856	0,835	0,830	0,795

Fuente. Los autores

*Formula aplicada. Diámetro a 5m S.C./DAP

Media:

Varianza:

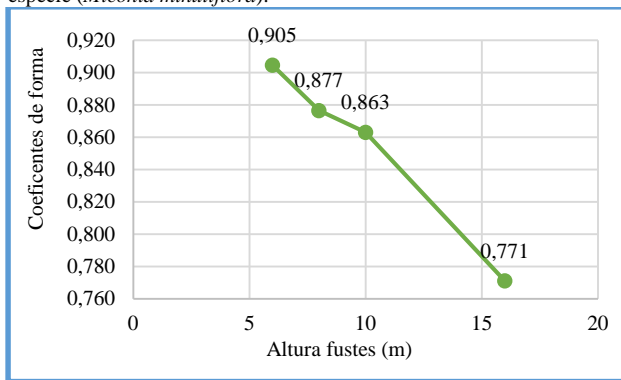
Desviación estándar:

Tabla 18. Coeficientes de forma promedio según altura de fuste, de la especie (*Miconia minutiflora*).

Alturas (m)	Schuber y Schiffel	Johnson	Schiffel	Cl. Forma	Coef. Promedio/altura
6	0,9	0,937	0,925	0,856	0,9045
8	0,877	0,9	0,894	0,835	0,8765
10	0,863	0,885	0,874	0,83	0,863
16	0,727	0,786	0,776	0,795	0,771

Fuente. Los autores

Grafica 16. Coeficientes de forma promedio según altura de fuste de la especie (*Miconia minutiflora*).



Fuente. Los autores

Según la **gráfica 16**, el mayor coeficiente de forma se presenta en los fustes de 6 metros de altura con 0,905 e indica una mayor tendencia hacia la forma de un cilindro, mientras que los fustes de 8,10, y 16 metros disminuyen a medida que aumenta la altura, e indica un mayor ahusamiento, atribuible a la competencia por luz, y a los hábitos de crecimiento de la especie

Tabla 19. Coeficientes de forma para 9 árboles de (*Miconia minutiflora*), del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico.

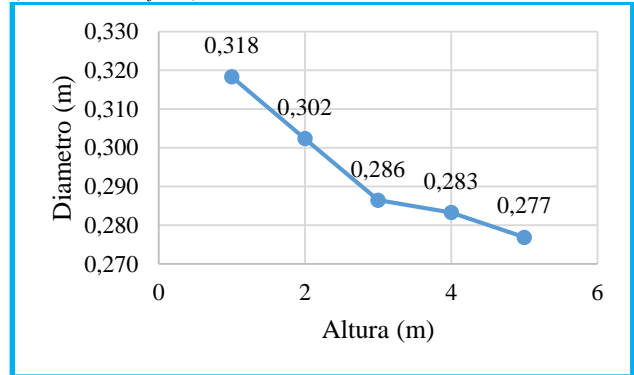
ARBOL	Cociente de forma de Schuber y Schiffel	Cociente normal de Schiffel	Cociente absoluto de forma de Johnson	Clase de forma
1	0,877	0,877	0,877	0,832
2	0,686	0,735	0,745	0,746
3	0,757	0,794	0,802	0,802
4	0,738	0,798	0,812	0,839
5	0,859	0,871	0,883	0,826
6	0,867	0,878	0,887	0,835
7	0,856	0,878	0,883	0,814
8	0,898	0,929	0,939	0,861
9	0,900	0,925	0,937	0,856
Promedio	0,826	0,853	0,862	0,823

Fuente. Los autores

CURVAS DE AHUSAMIENTO PARA DIFERENTES ALTURAS DE FUSTES, DE LA ESPECIE (*Miconia minutiflora*).

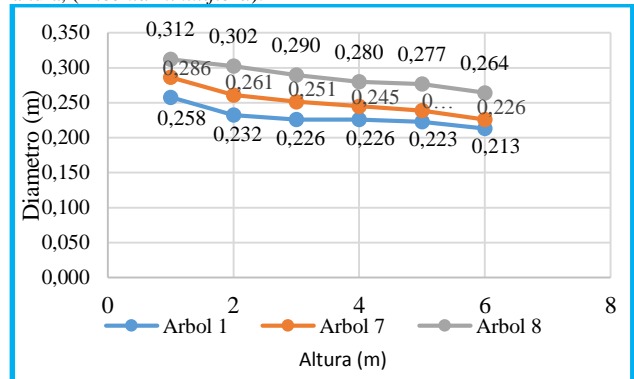
El objetivo es conocer mediante una gráfica, el diámetro promedio en cualquier punto del fuste para árboles de diferentes diámetros y alturas o para árboles de diferentes diámetros, alturas y clases de forma

Grafica 17. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 6 metros, (*Miconia minutiflora*)



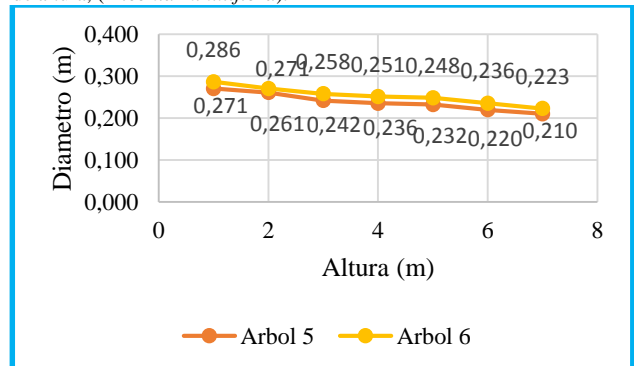
Fuente. Los autores

Grafica 18. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 8 metros de altura, (*Miconia minutiflora*).



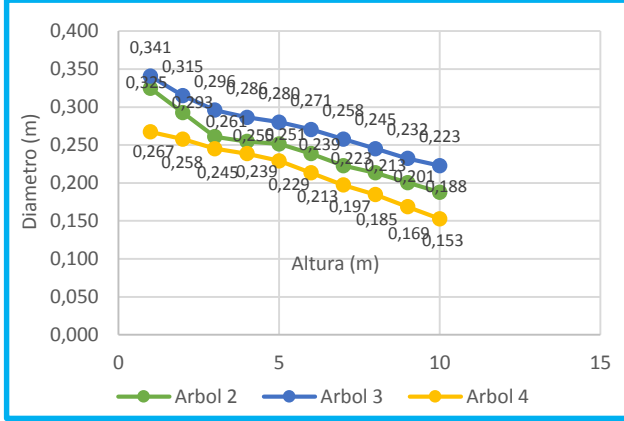
Fuente, Los autores

Grafica 19. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 10 metros de altura, (*Miconia minutiflora*).



Fuente. Los autores

Grafica 20. Curva de ahusamiento para arboles con fuste de 16 metros de altura. (*Miconia minutiflora*)



Fuente. Los autores

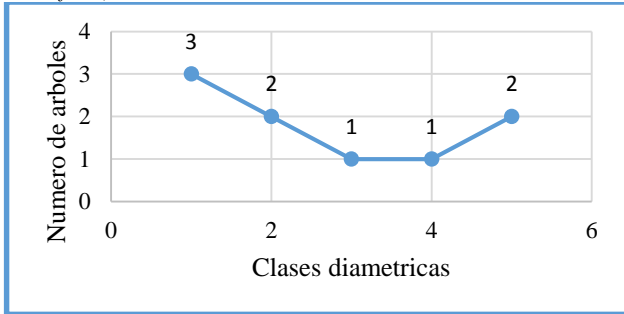
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DIAMETRICA (*Miconia minutiflora*).

Tabla 20. Distribución diamétrica de la especie (*Miconia minutiflora*) del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Intervalos	Xi (marca de clase)	Fi	Xi*Fi	Xi-X	(Xi-X)² Fi
0,258- 0,273	26,5	3	79,5	-6,26	117,5628
0,274-0,28	27,7	2	55,4	-5,06	51,2072
0,29- 0,305	29,7	1	29,7	-3,06	9,3636
0,306-0,321	31,3	1	31,3	-1,46	2,1316
0,322- 0,341	33,1	2	66,2	0,34	0,2312
	Total	9	262,1		180,4964

Fuente. Los autores

Grafica. 23. Curva de distribución diamétrica del morochillo (*Miconia minutiflora*).



Fuente. Lo autores

Media. 32,76

Varianza; 22,56

Desviación Estándar: 4,75 cm.

Coefficiente de Variación: 14,49%

CALCULO DE VOLUMEN CON COEFICIENTES DE FORMA Y FORMULA GENERAL

Se calculó el volumen de los 9 árboles de (*Miconia minutiflora*), utilizando la formula general de volumen con el coeficiente de forma obtenido por diferentes métodos (Schuber y Schifel, Jhonson, Schifel, y Clase de forma, y

se comparó con el volumen obtenido mediante la fórmula PRORADAN para la Amazonia colombiana.

Tabla 21. Calculo de volumen de 9 árboles de (*Miconia minutiflora*), utilizando diferentes coeficientes de forma.

ESPECIE	DAP	Altura		Area Basal	Vol. Total	Vol.Comer PRORADAM	Vol.Comer Schuber-Schifel (0,82)	Vol. Comer. Jhonson (0,86)	Vol. Comer. Schifel (0,85)	Vol Comer. Cla.Forma (0,82)
		Total	Comer							
Miconia minutiflora	0,26	18	9	0,052	0,676	0,394	0,383	0,401	0,397	0,383
Miconia minutiflora	0,32	22	16	0,082	1,203	0,980	1,079	1,131	1,118	1,079
Miconia minutiflora	0,34	21	16	0,090	1,286	1,077	1,187	1,245	1,231	1,187
Miconia minutiflora	0,27	23	16	0,056	0,842	0,669	0,732	0,767	0,758	0,732
Miconia minutiflora	0,27	12	10	0,057	0,550	0,474	0,468	0,491	0,485	0,468
Miconia minutiflora	0,29	14	9	0,064	0,695	0,485	0,472	0,495	0,490	0,472
Miconia minutiflora	0,29	12	7	0,064	0,616	0,389	0,367	0,385	0,381	0,367
Miconia minutiflora	0,31	13	8	0,076	0,776	0,518	0,498	0,522	0,516	0,498
Miconia minutiflora	0,32	11	7	0,079	0,706	0,479	0,454	0,476	0,470	0,454
						5,465	5,640	5,915	5,846	5,640

Fuente. Los autores

Tabla 22. Calculo de volumen de la población de árboles de (*Miconia minutiflora*), utilizando diferentes coeficientes de forma, calculados por diferentes métodos.

Vol.Comer (m³) PRORADAM	Vol.Comer (m³) Schuber-Schifel (0,82)	Vol. Comer.(m³) Jhonson (0,86)	Vol. Comer (m³) Schifel (0,85)	Vol.Comer Cl.Forma (0,82)
55,454	57,736	59,848	61,256	57,736

Fuente Los autores

La **tabla 22**, Muestra el resultado del inventario realizado a toda la población de (*Miconia minutiflora*), 117 árboles, del bosque de rastrojo del Jardín Botánico Tropical Amazónico, calculado mediante la fórmula Proradan y la formula general del volumen aplicando diferentes coeficientes de forma, calculados en la investigación. El volumen con la formula Proradan sigue siendo el más bajo con 55,454 m³ y el más alto volumen se reporta con el cociente normal de Schiffel con 61.225 m³.

Los volúmenes calculados con Schuber y Schiffel son iguales con 57.736 m³ por cuanto coinciden en el valor de coeficiente de forma con 0.82 en cada caso.

Tabla 23 Análisis de varianza para los totales volumétricos de la población de (*Miconia minutiflora*)

Media	58,406
Error típico	9,953
Desviación estándar	22,25
Varianza de la muestra	495,3492
Rango	58,02
Mínimo	55,454
Máximo	61,256
Suma	292,030
Cuenta	5

Fuente. Los autores

CONCLUSIONES

El conocimiento de los coeficientes de forma y ahusamiento de las especies (*Jacaranda copaia*) y (*Miconia minutiflora*), permiten calcular los volúmenes de madera con mayor precisión y por tanto los resultados de los inventarios forestales, n una mayor confiabilidad y con valores más ajustados a la realidad.

El análisis de correlación, aplicando el método de regresión en las dos especies, muestra que existe una relación perfecta entre el diámetro y la altura, pero que es inversamente proporcional es decir que a medida que aumenta la altura disminuye el diámetro.

Para el cálculo de los coeficientes de forma en las dos especies, se tuvo en cuenta la altura comercial del fuste, por cuanto en las formulas originales según Schuber-Schiffel; Jhonson; Schiffel y Clase de forma se considera la altura total, al ser diseñadas para especies de coníferas.

Los coeficientes de forma promedio de 10 fustes de (*Jacaranda copaia*), son los siguientes: Schuber y Schiffel (0,85); Jhonson (0,9); Schiffel (0,88) y Clase de forma (0,87). Puede observarse que la diferencia no supera el 0,05, lo indica que puede utilizarse indistintamente estos coeficientes para esta especie, con los cuales se logra obtener volúmenes más reales que con la aplicación de la formula Proradam.

Los coeficientes de forma promedio de 9 fustes de (*Miconia minutiflora*) son los siguientes: Schuber y Schiffel (0,84); Jhonson (0,87); Schiffel (0,86) y Clase de forma (0,82). Puede observarse que la diferencia no supera el 0,05, lo indica que puede utilizarse cualquiera de estos coeficientes para esta especie.

Para los árboles de (*Jacaranda copaia*) con alturas de fuste de 8 y 10 y 12 metros muestran más tendencia hacia un fuste cilíndrico con (0,92), (0,96) y (0,91) respectivamente, es decir que entre más se aproxime a 1 existe menos ahusamiento. Mientras que para fustes con alturas de 14 y 16 metros, presentan una tendencia a ser más ahusados con (0,86) y (0,83) respectivamente. De acuerdo a los resultados existe una tendencia a tener mayor ahusamiento entre más altura presenten los fustes, atribuible posiblemente a la competencia entre especies y a los hábitos de crecimiento.

Para los árboles de (*Miconia minutiflora*) el mayor coeficiente de forma se presenta en los fustes de 6 metros de altura con 0,905 e indica una mayor tendencia hacia la forma de un cilindro, mientras que los fustes de 8,10, y 16 metros disminuyen a medida que aumenta la altura, e indica un mayor ahusamiento, atribuible a la competencia por luz, y a los hábitos de crecimiento de la especie, ya que se trata de árboles emergentes, mientras que los de menor tamaño presentan una exposición parcial de la luz

La aplicación de la fórmula de PRORADAM en las demás especies a las cuales no se les conoce los (CF) para la zona de la Amazonía, Putumayo y Amazonas $V = 0.785 \{0.97983 - (0.08471 * D) - (0.011327 * H)\} (D^2) * (H)$ presenta una relativa garantía de precisión por cuanto intervienen variables que son relacionadas al diámetro y la altura del árbol. Se trata de una formula ajustada mediante un modelo de regresión múltiple donde se combina variables de ahusamiento y al factor o coeficiente de forma promedio de múltiples especies. Sin embargo, existe una gran diferencia entre los volúmenes obtenidos con los (cf) de Schuber y Schiffel, Schiffel, Jhonson y Clase de forma para el caso del (*Jacaranda copia*) y (*Miconia minutiflora*).

BIBLIOGRAFIA

- Bruce, D., Curtis R., & Vancoevering, C. (1968). Development of system and taper volume tables for red alder. *Forest Science*, 14, 339-350.
- Fang, Z., & Bailey, R. (1999). Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in southern China. *Forest Science*, 45(1),85-100.
- Kozak, A., D. D. Munro and J. H. G. Smith. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. *For. Chron.* 45(4):278-283.
- Marín Pompa García, José Javier Corral Rivas, Manuel Antonio Díaz Vásquez y Martín Martínez Salvador. Función de ahusamiento y volumen compatible para Pinus arizonica Engelm. En el Suroeste de Chihuahua. *Rev. Cien. For. Mex* vol.34 no.105 México ene./jun. 2009. En línea, disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>. Descargado Octubre de 2018.
- Newnham, R. (1998). A variable-form taper function. Ontario: Petawawa National Forestry Institute. 33 p.
- Parresol, B., & Tomas, C. (1996). A simultaneous density-integral system for estimating stem profile and biomass. Slash pine and Willow Oak. *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 773-781. <https://doi.org/10.1139/x26-087>
- Tapia B. J, J. (1998). Ajuste de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento. para Pinus Teocote.y Pinus pseudostrobus. Estado Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo Leon.. 117pp.
- Sabine Muller, Margorie Martin, Jorge Cabrera. INFOR.INNOVA. (2011). Métodos Silvícolas para la conservación del Bosque nativo. Santiago de Chile. en línea, disponible en: <http://transparencia.minagri..> Descargado diciembre de 2017.