



**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de  
Ingeniería en Tecnología de la Madera.**



**Estimación de volumen y forma para fustes de árbol de seis especies  
tropicales de bosque Andino de Colombia**

**TESIS**

**David Eduardo Dávila Molina**

**Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera**

**Director:**

**Doctor Gildardo Cruz de León**

**Morelia, Michoacán, Noviembre de 2017.**

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo constante, la dedicación, la esperanza, el apoyo incondicional y el amor que mis padres me han brindado día a día se ven reflejados en cada uno de los logros académicos que he alcanzado. Por esto y mucho más este trabajo de investigación va dedicado a mi madre María del Carmen Molina y a mi padre Ricardo Dávila, que a pesar de la distancia durante este periodo de estudio siempre estuvieron pendientes de mi esposa y de mí, dándonos sus buenas energías y bendiciones.

A mi bella esposa Claudia Isabel Infante, quien decidió acompañarme en este viaje de conocimientos y aventuras, inspirándome en cada paso y quien estuvo cada día pendiente de mí, brindándome su apoyo y su amor en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por todas las bendiciones recibidas y sobre todo a mis amados padres María del Carmen Molina y Ricardo Dávila, por su gran apoyo y amor en cada etapa de mi vida, pues sin su sacrificio y esfuerzo seguramente no habría alcanzado este logro.

A mi amada esposa Claudia Infante por su apoyo y su amor, quien me brindó su mano para recorrer juntos este camino y construir el bienestar de nuestra familia.

A mis queridos suegros Mabel Amparo Ordoñez y Carlos Fredy Infante, que con su cariño, sus buenos deseos y su incondicional apoyo, estuvieron siempre presentes desde la distancia en cada etapa de esta experiencia.

A mi gran amigo Uriel Vargas y a su querida madre Alicia Mejorada. Personas muy especiales con mi esposa y conmigo durante todo este proceso de formación, quienes nos abrieron las puertas de su hogar y sus corazones, haciéndonos saber que podíamos contar con ellos en todo momento.

A mi director el Dr. Gildardo Cruz de León, parte fundamental para el desarrollo de este trabajo quien me brindó sus conocimientos, su sabiduría y sus consejos, no solo en el terreno académico si no también para el camino a recorrer en la vida.

Agradecer también a los miembros del jurado, el M.C. Marco A. Herrera, el Dr. José Cruz de León, Javier R. Sotomayor y el Dr. Jorge E. Ambriz, quienes me apoyaron académicamente en este trabajo con sus conocimientos y observaciones.

Al posgrado de la facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera, por darme la oportunidad de ser su estudiante y realizar este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por permitirme ser uno de sus becarios y ayudarme económicamente durante el desarrollo de este estudio.

A mi amigo y mentor, el profesor Roman Ospina de la Universidad del Cauca, quien me ayudó a formarme como profesional, con su conocimiento, experiencia y estuvo pendiente de mis padres y de mi proceso en México.

A mis amigos en Colombia Jefferson Herrera y Eduar Aguirre, por estar pendientes de mis padres durante este tiempo y por darme ánimo para continuar con mis proyectos.

A Carlos Calero, su hermana Lorena Calero, Diana Castillo y Jennifer Tovar pues con sus llamadas, sus palabras de aliento y su buen humor, me hacían sentir menor la distancia entre mi país natal y México.

A mis compañeros de maestría con quienes desde el inicio del posgrado logramos un buen equipo académico, mantuvimos una relación fraternal y me enseñaron un poco de su cultura. También los felicito a ellos por su empeño en cada uno de los trabajos de grado que realizan.

A mis vecinos mexicanos y cubanos, por su amistad, compañía y compartir con mi esposa y conmigo, sus costumbres y cultura.

# INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES .....	4
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	6
2.1 Planteamiento del problema .....	6
2.2 Justificación .....	6
2.3 Hipótesis.....	7
2.4 Objetivos .....	8
2.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	8
2.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	8
CAPÍTULO 3. MARCO TEORICO.....	9
3.1 Descripción de las especies muestreadas .....	9
3.2 Variables de medición en árboles .....	12
3.2.1 <i>Diámetro a la altura del pecho</i> .....	12
3.2.2 <i>Mediciones del DAP en diferentes tipos de terrenos</i> .....	12
3.2.3 <i>Medición de alturas</i> .....	13
3.3 Volumen de fustes .....	14
3.3.1 <i>Factor de forma</i> .....	16
3.3.2 <i>Factor de forma absoluto</i> .....	16
3.3.3 <i>Factor de forma artificial o falso</i> .....	17
3.3.4 <i>Factor de forma natural, verdadero</i> .....	17
3.4 Modelos de forma .....	18
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA .....	20
4.1. Zona de estudio .....	20
4.2 Muestreo .....	21
4.3 Volumen y factor de forma .....	22
4.4 Procesamiento de datos.....	23
4.5 Análisis de varianza y comparaciones múltiples .....	23
CAPÍTULO 5. RESULTADOS PARA VOLUMEN Y FACTOR DE FORMA DE LAS SEIS ESPECIES EVALUADAS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CUBICACIÓN .....	24
5.1 Resultados para el volumen .....	24
5.1.1 <i>Volumen promedio de fustes divididos en 5 secciones para las seis especies de estudio</i> .....	24
5.1.2 <i>Volumen promedio de fustes divididos en 10 secciones para las seis especies de estudio</i> ...	26

5.2 Resultados para el volumen promedio del primer segmento en la base del tronco.....	27
5.3 Resultados para el factor de forma al $D_{0.1}$ para fustes de 5 secciones .....	29
5.3.1 Factor de forma promedio por especie para Huber al $D_{0.1}$ (Hohenadl) con 5 secciones .....	29
5.3.2 Factor de forma promedio por especie para Smalian al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	30
5.3.3 Factor de forma promedio por especie de Newton al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	31
5.3.4 Factor de forma promedio cono truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones .....	32
5.3.5 Factor de forma promedio neiloide truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones .....	32
5.3.6 Factor de forma promedio de Subneiloide (AED) al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	33
5.3.7 Factor de forma promedio de Bruce al $D_{0.1}$ con 5 secciones .....	33
5.4 Comparación preliminar entre los factores de forma para los diferentes métodos seccionales para $D_{0.1}$ y 5 secciones.....	34
5.5 Resultados para el factor de forma promedio por especie al $D_{0.1}$ para 10 secciones.....	35
5.5.1 Factor de forma promedio de Smalian al $D_{0.1}$ para 10 secciones.....	35
5.5.2 Factor de forma de Cono truncado al $D_{0.1}$ para 10 secciones .....	36
5.5.3 Factor de forma promedio de Neiloide truncado al $D_{0.1}$ y 10 secciones.....	36
5.5.4 Factor de forma promedio de subneiloide (AED) al $D_{0.1}$ y 10 secciones .....	37
5.6 Comparación preliminar entre los factores de forma para los diferentes métodos seccionales para $D_{0.1}$ y 10 secciones.....	37
5.7 resultados para los factores de forma promedio por clases diamétricas para los diferentes métodos seccionales con 5 secciones de fuste.....	38
5.7.1 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_{0.1}$ con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	39
5.7.2 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ (diámetro de la base) con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	39
5.7.3 Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	40
5.8 Resultados para los factores de forma promedio por clase diamétrica y método seccional con 10 secciones de fuste .....	41
5.8.1 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_{0.1}$ con 10 secciones para la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	41
5.8.2 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ con 10 secciones para la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	42
5.8.3 Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 10 secciones para la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	42
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA DE RESULTADOS PARA EL VOLUMEN DEL PRIMER SEGMENTO Y LOS FACTORES DE FORMA .....	43

6.1 Análisis de varianza de un factor para el volumen de la primera troza .....	43
6.2 Pruebas de análisis de varianzas de un factor .....	44
6.2.1 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones de fuste.....	45
6.2.2 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al $D_0$ con 5 secciones de fuste.....	47
6.2.3 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al DAP con 5 secciones de fuste.....	49
6.2.4 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al $D_{0.1}$ con 5 secciones de fuste.....	50
6.2.5 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al $D_0$ con 5 secciones de fuste.....	52
6.2.6 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al DAP con 5 secciones de fuste.....	54
6.3 Análisis de varianza de dos factores .....	56
6.3.1 Análisis de varianza de dos factores para fustes de 5 secciones al $D_0$ .....	57
6.3.2 Análisis de varianza de dos factores para fustes de 10 secciones al $D_{0.1}$ .....	59
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....	62
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES .....	66
CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES.....	68
BIBLIOGRAFIA.....	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Volumen de <i>Chrysoclamys colombiana</i> en fuste de 5 secciones.....	24
Cuadro 2. Volumen de <i>Chrysochlamys c.</i> para fuste de 10 secciones. ....	26
Cuadro 3. Volumen promedio de la primera troza con el método de Bruce.....	28
Cuadro 4. Volumen promedio de la primera troza con el método de neiloide truncado.....	28
Cuadro 5. Volumen promedio de la primera troza con el método de subneiloide truncado. ....	28
Cuadro 6. Factor de forma promedio de Hohenadl para las 6 especies objeto de estudio. ....	30
Cuadro 7. Factor de forma promedio de Smalian al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	31
Cuadro 8. Factor de forma promedio de Newton al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	31
Cuadro 9. Factor de forma promedio Cono truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	32
Cuadro 10. Factor de forma promedio Neiloide truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	33
Cuadro 11.Factor de forma promedio de Subneiloide (AED) al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	33
Cuadro 12. Factor de forma promedio de Bruce al $D_{0.1}$ con 5 secciones. ....	34
Cuadro 13. Comparación preliminar entre los diferentes métodos para hallar el factor de forma.....	34
Cuadro 14.Factor de forma promedio de Smalian al $D_{0.1}$ para 14 secciones. ....	35

Cuadro 15. Factor de forma promedio de Cono truncado al $D_{0.1}$ para 10 secciones.....	36
Cuadro 16. Factor de forma promedio de Neiloide al $D_{0.1}$ y 10 secciones.....	36
Cuadro 17. Factor de forma promedio de subneiloide (AED) al $D_{0.1}$ y 10 secciones.....	37
Cuadro 18. Comparación preliminar entre los 4 métodos aplicados a 10 trozas.....	38
Cuadro 19. Factores de forma promedio por clase diamétrica al $D_{0.1}$ con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	39
Cuadro 20. Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	40
Cuadro 21. Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 5 secciones para la especie <i>Chrysochlamys colombiana</i> .....	40
Cuadro 22. Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_{0.1}$ para fustes de 10 secciones de la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	41
Cuadro 23. Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ para fustes de 10 secciones de la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	42
Cuadro 24. Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP para fustes de 10 secciones de la especie <i>Quercus humboldtii</i> .....	42
Cuadro 25 ANOVA para volumen del primer segmento.....	44
Cuadro 26 Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al $D_{0.1}$ (5 secciones). .....	45
Cuadro 27. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al 10% (5 secciones).....	46
Cuadro 28. Prueba de comparaciones múltiples Tukey y Duncan para clases diamétricas con cono truncado al $F_{0.1}$ .....	46
Cuadro 29. Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al $D_0$ (5 secciones). .....	48
Cuadro 30. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al $D_0$ (5 secciones).....	48
Cuadro 31. Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al DAP (5 secciones). .....	49
Cuadro 32. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al DAP (5 secciones).....	50
Cuadro 33. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	50
Cuadro 34. Prueba de ANOVA entre los métodos usados en el estudio al $D_{0.1}$ (5 secciones).....	51
Cuadro 35. Prueba de comparaciones múltiples Tukey y Duncan para los métodos usados en el estudio, al $D_{0.1}$ con 5 secciones.....	52
Cuadro 36. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al $D_0$ con 5 secciones.....	53
Cuadro 37. Prueba de ANOVA entre los métodos usados al $D_0$ (5 secciones).....	53
Cuadro 38. Prueba de comparaciones múltiples Tukey para los métodos usados en el estudio, al $D_0$ con 5 secciones.....	54
Cuadro 39. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al DAP con 5 secciones.....	55
Cuadro 40. Prueba de ANOVA entre métodos al DAP (5 secciones).....	55
Cuadro 41. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los métodos usados en el estudio, al DAP con 5 secciones.....	56
Cuadro 42. Comparaciones múltiples de clases diamétricas para $D_0$ .....	58
Cuadro 43. Pruebas de subconjuntos homogéneos de Tukey y Duncan.....	58
Cuadro 44. Comparaciones múltiples entre especies para fustes de 5 secciones al $D_0$ .....	59
Cuadro 45. Pruebas de subconjuntos homogéneos de Tukey y Duncan, para fustes de 10 secciones...	61
Cuadro 46. Comparaciones múltiples entre especies para fustes de 10 secciones al $D_{0.1}$ .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Definición de la altura de medición del DAP en (a) arboles rectos, normales y terreno bifurcados bajo 1,3 m de altura en el fuste; (c) arboles bifurcados sobre 1,3; (d) árbol defectuoso a la altura de 1,3 m; (e) arboles inclinados; (f) en terreno con pendiente. Fuente: (Cancino, 2006). .....	13
Figura 2. Identificación de los diferentes tipos dendrométricos de sus truncados en el fuste de un árbol. Fuente: Romahn y Ramírez, 2010.....	18
Figura 3. Cuerpos teóricos de rotación. Fuente: Prodan et al, 1997.....	19
Figura 4. Localización zona de estudio, Vereda Quintana, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca. Fuente: (Rovis y Sarria, 2013). .....	20
Figura 5. Fragmento de bosque Andino de la zona de estudio. Fuente: (Rovis y Sarria, 2013). .....	21
Figura 6. Fustes de muestreo con 5 y 10 secciones. ....	22
Figura 7. Volumen por clase diamétrica de <i>Chrysoclamys c.</i> con cada método .....	25
Figura 8. Volúmenes promedio de <i>Chrysoclamys c.</i> en fustes de 10 secciones. ....	27
Figura 9. Volumen del primer segmento de fuste. ....	29
Figura 10. Gráfica para ANOVA de 2 factores entre clases diamétricas y especies con cada método de cubicación. ....	57
Figura 11 Gráfica para ANOVA de 2 factores, para factor de forma entre clases diamétricas y método de cubicación.....	60

## RESUMEN

Se ha propuesto en la literatura, un procedimiento teórico general para evaluar métodos seccionales. Sin embargo, el principal problema es que existen pocos trabajos experimentales con los cuales se pueda comparar la teoría. El presente trabajo de tesis pretende realizar una contribución en esa dirección. Utilizando mediciones de diámetros y alturas para diferentes secciones de tronco de árbol de seis especies tropicales de bosque Andino: *Chrysochlamys colombiana*, *Guarea kunthiana*, *Hieronyma macrocarpa*, *Myrcianthes leucoxylla*, *Nectandra reticulata* y *Quercushumboldtii*, obtenidas en Colombia, se estimó el volumen y forma mediante métodos seccionales tradicionales utilizados en el área de mediciones forestales, los métodos que utilizan las fórmulas de Newton, Huber, Smalian, truncado de cono, truncado de neiloide, Bruce y el del área transversal asociada al promedio de diámetros extremos de segmento (subneiloide), respectivamente. Se determinaron los tres factores de forma de mayor interés definidos en el área mediciones forestales: el factor de forma absoluto, el factor de forma natural definido a alguna altura relativa predeterminada, con respecto a la altura total, y el factor de forma relacionado al diámetro a la denominada altura del pecho. La altura del pecho se define convencionalmente como 1.3m sobre la base del fuste. Se realizó un análisis estadístico para comparar los resultados del factor de forma como función de las variables involucradas, como son: la especie, el método seccional de estimación de volumen y la clase diamétrica.

Palabras clave: volumen, factor de forma, métodos seccionales, especies tropicales, mediciones forestales.

## ABSTRACT

A general theoretical procedure for evaluating sectional methods has been proposed in the literature. However, the main problem is that there are few experimental works with which the theory can be compared. The present work of thesis aims to make a contribution in this direction. Using measurements of diameters and heights for different sections of tree stems for six tropical Andean forest species: *Chrysochlamys colombiana*, *Guarea kunthiana*, *Hieronyma macrocarpa*, *Myrcianthes leucoxylo*, *Nectandra reticulata* and *Quercushumboldtii*, obtained in Colombia, the volume and shape were estimated by traditional methods used in the area of forest measurements, using the methods of Newton, Huber, Smalian, cone truncation, neiloid truncate, Bruce and cross-sectional methods associated with the average (subneiloid) segment diameters respectively. The three form factors of greatest interest defined in the area of forest measurements were determined: the absolute form factor, the natural form factor defined at some predetermined relative height, with respect to the total height, and the shape factor related to the diameter to the so-called breast height. Breast height is conventionally defined as 1.3m above the base of the shaft. A statistical analysis was performed to compare the results of the form factor as a function of the variables involved, such as: the species, the sectional method of volume estimation and the diametric class

Key words: volume, form factor, sectional methods, tropical species, forest measurements.

# INTRODUCCIÓN

El presente estudio se basa en información que proviene de una reserva forestal andina ubicada en el municipio de Popayán del departamento de Cauca en Colombia, la cual contiene un bosque que se encuentra en un proceso de restauración, debido a que hasta hace algunos años tuvo una fuerte intervención por extracción de madera y paso de ganado vacuno, lo que generó un deterioro tanto de suelo como pérdida de cobertura vegetal del bosque. La Universidad del Cauca realizó un aislamiento de este bosque para evaluar su recuperación o regeneración natural. Se han llevado a cabo diversos estudios de caracterización de sus especies forestales identificando varios elementos de su estructura y ecología. Se han recolectado una gran cantidad de datos y se requiere ahora también de un enorme esfuerzo para su procesamiento. En la contribución a dicha tarea se ubica el presente trabajo. En los últimos diez años, aproximadamente, en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en el Estado de Michoacán, México, se ha estado realizando investigación teórica fundamental sobre métodos seccionales, a la cual se ajusta exactamente el tipo de mediciones realizadas en Colombia. Por este motivo, se estableció el vínculo para aplicar la metodología teórica propuesta en México para el procesamiento de la información obtenida en Colombia. Se eligieron para este trabajo, los datos de las seis especies más dominantes del bosque, con el propósito de caracterizar volúmenes y formas de sus fustes, utilizando métodos seccionales de cubicación que se ajustan mejor a las condiciones y limitantes que este bosque presenta. Una de las limitantes más influyentes, es que no se puede realizar un derribo de árboles.

La estimación de volumen de fustes de árbol es una actividad prioritaria en mediciones forestales, para estudios de crecimiento, estudios de biomasa en la determinación de la captura de bióxido de carbono en masas forestales y para planes de ordenación y manejo forestal, donde se definen los usos o servicios de los bosques estudiados. En particular para estimar la cantidad aprovechable de madera en un bosque. Existen diferentes métodos para cuantificar dicho volumen como son: los métodos seccionales, los métodos basados en ecuaciones de volumen y los que utilizan las funciones de perfil o ahusamiento. Como se señaló en el párrafo previo, el

presente trabajo solo se enfoca en los métodos seccionales; se evaluarán siete de los más conocidos entre los que se encuentran los métodos tradicionales de Newton, Smalian y Hubber. El interés en estos métodos simples ha resurgido recientemente en investigación de diferentes disciplinas en donde es necesario determinar el volumen de un fuste de árbol para estimar la captura de bióxido de carbono por una masa forestal (Díaz-Gustavo *et al.*, 2015) así como para la estimación de producción de carbón vegetal (Fernandes, Vinha, Furtado & Bolognani, 2014).

Por otro lado, la manera fundamental para determinar la forma de un tronco de árbol es a través de teorías mecánicas. Una de estas teorías supone que el efecto principal que determina la forma de un tronco es su resistencia al viento y predice una forma de paraboloides cúbico. La otra supone que el efecto principal es la resistencia a su propio peso y predice una forma de neiloide. Se ha realizado un trabajo muy serio y extenso en este campo. Dean y Long (1986) presentan el tema de manera compacta y accesible. Este tipo de estudios no se abordarán en el presente trabajo.

Existen diferentes métodos empíricos para caracterizar la forma de un tronco de árbol en mediciones forestales. El método tradicional es a través de asociar una forma promedio a cualquier tronco de árbol, basada en geometrías de sólidos de revolución simples. Se asocia un truncado de neiloide a la parte baja del tronco, un truncado de paraboloides a la parte media y un paraboloides o cono a la punta (Avery y Burkhart, 2002). El segundo método es más específico y propone funciones de perfil por especie, obtenidas mediante ajustes estadísticos a datos experimentales (West, 2009). Otro método simple es a través de factores de forma. Existen varias definiciones de los mismos. Una de ellas es el factor de forma absoluto, definido como la razón entre el volumen del tronco y el volumen de un cilindro con la misma altura y diámetro en la base del tronco. Otra, es el factor de forma natural, definido de manera similar, pero ahora el diámetro del cilindro corresponde al diámetro del tronco a alguna altura relativa sobre su base. En particular, si se divide el fuste en 5 secciones longitudinales o segmentos, se utiliza el método seccional de Huber para obtener el volumen del tronco por segmentos, y se elige la altura relativa del cilindro de referencia al 10% de la altura total del fuste, sobre su base, se obtiene lo que se denomina el factor de forma verdadero o de Hohenadl. Finalmente, se tiene el factor de forma falso, en donde el diámetro del cilindro corresponde al diámetro a la altura del pecho, 1.3 (Laar

y Akça, 2007). A pesar de que se trata de un tema clásico en investigación forestal, la determinación de factores de forma sigue siendo un campo muy activo según se describe a continuación.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Ojeda (1983), determina que existe diferencia significativa del factor de forma, entre seis familias de especies tropicales y que en clases diamétricas menores a 30 cm los factores de forma son significativamente diferentes a los factores de clases diamétricas superiores.

Socha y Kulej (2007), estudiaron durante varios años 20 parcelas de monitoreo en la zona de Beskid Sądecki, al sur de Polonia, determinando que no existen diferencias significativas entre los factores de forma de los árboles de Alerce (*Larix decidua*) de las 20 distintas localidades, aun cuando sus diámetros y alturas presentan variación.

Fadaei *et al* (2008), determinan el factor de forma para (*Pinus taeda L.*) en plantaciones con 18 años de edad y rango de diámetros de 12 a 34 cm, en la localidad de Guilan al norte de Irán. Se evaluaron los métodos de factor de forma absoluto, factor de forma al 5% de la altura del fuste, factor de forma artificial (al DAP) y el de Hohenadl, obteniendo que el factor de forma absoluto y artificial no presentaron diferencias significativas entre ellos, mientras que el factor de forma de Hohenadl, presentó un mejor ajuste en su estudio.

Toledo (2011), realizó una determinación del factor de forma para Melina (*Gmelina arborea*), en la hacienda forestal libertad AGR de la empresa agrícola ganadera Reysahiwal AGR S.A., obteniendo como resultado un factor de forma de 0.407, que difiere del factor de forma establecido por el ministerio de medio ambiente de Ecuador, el cual es de 0.78.

Armijos (2013), realizó tablas de volumen y el cálculo del factor de forma para 2 especies tropicales Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*) en tres plantaciones. Concluye que los factores de forma de estas especies se encuentran en un rango de 0.49 a 0.58, y al igual que Toledo (2011), difiere del factor de forma establecido por el ministerio de medio ambiente de Ecuador.

Tlaxcala *et al* (2016), realizaron un estudio sobre variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de cedro rojo (*Cedrela odorata L.*), obteniendo el factor de forma de 0.45 por medio de regresiones lineales.

García *et al* (2013), realizaron un estudio de estimación de factores de forma para la especie *Pinus montezumae*, obteniendo como resultado un factor de forma de 0.52, para una muestra total de 82 árboles muestreados de diferentes clases diamétricas.

Se ha reportado un estudio teórico sobre la forma y volumen de un tronco de árbol, basado en la teoría clásica de mediciones forestales conjuntamente con métodos aproximados del cálculo (Cruz de León y Uranga-Valencia 2013). Dicho estudio, además de unificar información dispersa, proporciona un procedimiento general que permite realizar estimaciones del factor de forma absoluto y predicciones de los errores que se pueden cometer en la estimación de volumen y forma al utilizar cualquier método seccional. En el mismo trabajo se realiza el ejercicio de estimación de errores al usar los métodos de Smalian y Huber. Posteriormente, se ha aplicado el mismo procedimiento para un método que se utiliza en Michoacán para estimar el volumen de un segmento de tronco, el cual se basa en asociarle el volumen de un cilindro de igual longitud y una área de sección transversal relacionada al diámetro promedio de los diámetros de los extremos del segmento (Cruz, Alfaro & Bañuelos, 2016). También se ha aplicado el método a la fórmula de cono truncado (Cruz, Uranga & Bañuelos, 2017) Las predicciones teóricas parecen estar en buen acuerdo con resultados experimentales (Akossou, Arzouma, Attakpa, Fonton & Kokou, 2013) pero éstos son muy escasos y hacen falta más estudios experimentales para confirmarlo.

## **CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 Planteamiento del problema**

En particular, en Colombia se han realizado estudios experimentales que siguen una línea similar de investigación a la descrita en el último párrafo del capítulo precedente. Se trata de estimación de volumen y factor de forma de Hohenadl para troncos de roble negro (*Colombobalanus excelsa*) (Dávila, Alvis & Ospina, 2012). Se cuenta con las mediciones requeridas para hacer un estudio similar en otras seis especies tropicales de bosque Andino de ese país. En el presente trabajo, se utilizará dicha información para obtener los diferentes factores de forma de interés en el área de mediciones forestales.

El factor de forma absoluto aparece de manera natural en el análisis teórico propuesto por Cruz de León y Uranga-Valencia (2013). Sin embargo, en mediciones forestal es más convencional el uso del factor de forma de Hohenadl y en menor grado el factor de forma asociado al diámetro a la altura del pecho, denominado factor de forma falso (Laar y Akça 2007). Todos los factores de forma anteriores son importantes y por ello, se determinarán en el presente trabajo.

El principal problema a resolver en este trabajo puede plantearse mediante la siguiente pregunta: ¿existe un cambio significativo en el volumen y forma de los fustes de árbol con respecto al método seccional de cubicación utilizado, a la clase diamétrica y la especie?

### **2.2 Justificación**

La determinación del volumen y forma de un tronco de árbol son problemas vitales en el área de mediciones forestales. La estimación del volumen mencionado es necesaria para cuantificar la cantidad de madera aprovechable de un bosque, para estudios de crecimiento en árboles, planes de manejo forestal y para investigación. Por ejemplo, con la determinación del volumen

de los troncos y de su densidad promedio, se estima la biomasa de los mismos, información fundamental para estimar la captura de bióxido de carbono de las especie en estudio en el bosque respectivo. Por otro lado, existen diferentes métodos de caracterizar la forma de un tronco de árbol. Un método simple, es a través del factor de forma. El estudio teórico referido previamente, sobre la estimación de volumen de tronco, por segmentos, arroja simultáneamente predicciones sobre los factores de forma absolutos y los errores involucrados en su determinación. Aun cuando existen pocos resultados experimentales sobre el tema, pero los disponibles están de acuerdo con las predicciones teóricas. En Colombia se ha realizado trabajo experimental que proporciona los elementos para obtener un trabajo complementario al trabajo teórico que se ha desarrollado en esta facultad. El presente trabajo pretende llevar a cabo dicha tarea y contribuir a la obtención de mayor información experimental que pueda compararse con la teoría en cuestión. Inversamente, los procedimientos propuestos por la teoría permitirán realizar un minucioso análisis e interpretación de los datos experimentales.

En este trabajo también se abordó el tema de la primera troza del fuste, debido a que es la sección con el mayor volumen fustal, aunque su forma tiende a ser neiloidica. Por ello se ve la necesidad de evaluar el método seccional de Bruce y comparar si sus resultados presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto a los métodos seccionales de neiloide truncado y sub-neiloide truncado, que son los que más se aproximan a la forma de la primera troza. Generalmente la madera de este primer segmento de fuste, es utilizada para ser debobinada y para la fabricación de paneles.

### **2.3 Hipótesis**

Es bien conocido que los métodos seccionales utilizados en este trabajo producen resultados diferentes para el volumen de un fuste y por lo tanto de su factor de forma, se espera que también en el presente estudio deben reflejarse dichas diferencias. Por lo tanto se tiene como hipótesis que: la estimación de volumen y factor de forma de los fustes de árbol depende del método seccional utilizado, de la clase diamétrica y de la especie.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

Determinar si existen diferencias estadísticas entre los factores de forma estimados mediante varios métodos seccionales de cubicación utilizados en mediciones forestales, para las especies tropicales *Chrysochlamys colombiana*, *Guarea kunthiana*, *Hieronyma macrocarpa*, *Myrcianthes leucoxylla*, *Nectandra reticulata* y *Quercus humboldtii*, de bosque Andino de Colombia.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- i) Determinar volúmenes y los factores de forma: absoluto, de Hohenadl, y falso.
  
- ii) Estimar el volumen del primer segmento en la base del tronco, utilizando los métodos basados en la fórmula de Bruce (Bruce, 1982), de neiloide truncado y de subneiloide truncado y compararlos entre sí.
  
- iii) Analizar las diferencias estadísticas entre los tres tipos de factores de forma ( $F_0$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{DAP}$ ) considerados en este estudio, como función de la clase diamétrica, la especie y el método seccional.

## CAPÍTULO 3. MARCO TEORICO

### 3.1 Descripción de las especies muestreadas

*Chrysochlamys colombiana*. Es un árbol que crece hasta 30 metros de altura. Generalmente presenta zancos. Sus ramas son oscuras y sus hojas de forma elíptica y envés claro con nervios prominentes, tiene de 13 a 18 cm de longitud y de 3 a 4,5 cm de ancho. Sus flores son blancas y fragantes. Sus frutos de color verde amarillento son de forma elipsoide y alcanzan hasta 3 cm de longitud. Es una especie de crecimiento rápido apta para sembrar a orillas de quebradas. Se propaga por semillas y por estacas (Vargas, 2002). Habitat: Crece en el interior de bosques secundarios maduros, en bordes de cañadas o en algunos casos de manera aislada en potreros. Se encuentra en estado de amenaza según categorías de la UICN (Unión internacional para la conservación de la naturaleza). Según el Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira es una especie útil para la forestación, para obtener leña, y postes para cercas.

*Guarea kunthiana*. El guamarón es uno de los árboles que produce grandes frutos y semillas en los bosques de montaña. Estos frutos tienen forma globosa, alcanzan 7 cm de diámetro y en su interior albergan varias semillas de gran tamaño. Al igual que otros árboles que producen frutos grandes, como el roble, el yolombó y el nogal, el guamarón es una especie muy valiosa para la conservación de la fauna salvaje, ya que algunos mamíferos, especialmente roedores como los tinajos o borugos (Agouti), se alimentan con sus semillas. Especie muy extendida desde Nicaragua hasta Paraguay, incluyendo las Antillas. En Colombia ampliamente distribuida por todo el país, desde el nivel del mar hasta 2800 m. No se la considera una especie amenazada. La madera es usada para elaborar chapas decorativas. Con la madera se puede elaborar tríplex. La madera es usada en cajonería (Vargas, 2002).

*Hieronyma macrocarpa*. Éste árbol alcanza los 20 m de altura. Su tronco alcanza 70 cm de diámetro, tiene una corteza muerta escamosa de color marrón grisáceo, su corteza viva es de color rosado y es fibrosa. Su copa es globosa y densa. Sus hojas son simples, alternas, miden unos 15 cm de largo por 8 cm de ancho, son de forma elíptica u oblonga, tienen borde entero,

son un poco ásperas en el haz y tienen escamillas en el envés. Sus flores son pequeñas y están dispuestas en inflorescencias axilares en racimos de unos 10 cm de largo; las flores masculinas tienen 5 estambres, son de color crema; las flores femeninas son de color verdoso. Sus frutos son carnosos, de forma oblonga, miden unos 2 cm de largo, son de color morado, liberan una tinta del mismo color, y cada uno tiene una semilla. Se ubica generalmente en bosques muy húmedos montano bajo (Mahecha, Ovalle, Camelo, Rozo & Barrero, 2004). Se encuentra en estado de amenaza según categorías UICN. Según el Jardín Botánico José Celestino Mútis de Bogotá, es una especie alimenticia: sus frutos son comestibles. Se le ha explotado intensivamente por su madera fina. Es recomendada para repoblar las hoyas hidrográficas (Mahecha *et al.*, 2004).

*Myrcianthes leucoxylla*. Este arrayán es una de las especies más importantes de los bosques que antiguamente cubrieron parte de la zona plana de la Sabana de Bogotá y que aún hoy se encuentran localmente en las laderas bajas de los cerros alrededor de la planicie, por debajo de 2900 metros sobre el nivel del mar. Estos bosques, no demasiado húmedos, se caracterizan por ser de porte relativamente bajo (un dosel de menos de 15 metros de altura) y están dominados por árboles con copa en forma de parasol y follaje denso, de hojas pequeñas y apretadas. En la actualidad sólo quedan mínimos restos de este tipo de bosques, ya que la mayoría han sido destruidos para abrir terrenos para la ganadería, la agricultura y la urbanización. Prefiere ambientes nublados, especialmente en cañadas y suelos bien drenados. Andes de Venezuela y Colombia. En Colombia presente sobre todo en la cordillera Oriental, entre 2000 y 3300 m. Se encuentra en estado de amenaza según las categorías de la UICN (Rodríguez, Peña & Plata, 1984). Su madera dura, es usada para elaborar cabos de herramientas. Con la madera se hacen postes para cercas. Las hojas, masticadas o en cocimiento, se emplean para aliviar el dolor de muelas. Especie de silueta muy ornamental, apropiada para jardines, parques y avenidas. También es usada para conformar setos y cercas vivas (Rodríguez *et al.*, 1984).

*Nectandra reticulata*. Árbol, de 5-15 m de altura. Hojas simples, alternas, de 10-36 por 4-14 cm, lanceoladas, elíptico-lanceoladas o elíptico-oblongas (Mahecha *et al.*, 2004). Inflorescencias de 9 -19 cm. Flores bisexuales, rara vez funcionalmente unisexuales; perianto de 6 partes en 2 verticilos, iguales o desiguales; estambres fértiles 9 en 3 verticilos, anteras con

4 válvulas, dispuestas en forma de arco o casi horizontalmente, introrsas, los 3 estambres internos (serie III) con 2 glándulas en la base, usualmente extrorsos; estaminodios presentes (serie IV) o ausentes; pistilo glabro (pubescente en *N. reticulata*), estilo corto, estigma discoide, peltado o capitado. Frutos: bayas inmaduras de 0,8 cm; cúpulas de hasta 0,7 cm (Flora Digital de la Selva, 2012). Su hábitat va de los 0 a los 4200 msnm (Mahecha *et al.*, 2004). Argentina, Bolivia, Brazil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guyana Francesa, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Surinam, Venezuela. Bosque húmedo, muy húmedo, pluvial y seco (Vargas, 2002). Es una especie amenazada según las categorías de la UICN. Se presume nativa de México al Trópico de América del Sur, su madera es usada para tablas en la construcción (Williams, 1981).

*Quercus humboldtii*. El roble forma generalmente grandes asociaciones mono-específicas, comúnmente denominadas robledales, generalmente en zonas de buen drenaje y con suelos de textura arcillo-limosa, ácidos y con una capa gruesa de materia orgánica (Pacheco-Salamanca & Pinzón-Osorio, 1997). A pesar de ser una especie de amplia distribución, muy abundante y conformar grandes bosques, la mayoría de las corporaciones autónomas regionales del país la reportan como una especie con un grado avanzado de amenaza debido a la extracción maderera. De acuerdo a las corporaciones, casi el 42% de sus poblaciones han sufrido un intenso proceso de disminución, por lo cual el roble entra a la categoría vulnerable (VU A2cd). Existen poblaciones naturales en los parques nacionales naturales de Colombia, tales como Chingaza, Cueva de Los Guácharos, Farallones de Cali, Las Orquídeas, Munchique y Paramillo, y en los santuarios de fauna y flora Iguaque y Guanentá-Alto río Fonce, así como en las reservas alto de San Miguel (Antioquia), Cachalú (Santander), Meremberg (Huila) y Piedras Blancas (Antioquia). Se distribuye a lo largo de todas las regiones montañosas, entre los 1000 y 3600 m de altitud. Este tipo de roble (*Quercus h.*) es una especie casi exclusiva de Colombia, creciendo sólo por fuera del territorio colombiano en el Darién panameño (Muller, 1960). Su estado es de especie en amenaza según las categorías de la UICN. En Colombia VU (Vulnerable). Su madera es utilizada en la construcción de viviendas (vigas y enchapados), carrocerías, vagones, toneles, cabos de herramientas, ebanistería y para la elaboración de carbón de palo. La corteza fue utilizada entre los siglos XIX y XX en la curtiembre de pieles (Pacheco-Salamanca & Pinzón-Osorio, 1997).

## **3.2 Variables de medición en árboles**

La medición directa es un procedimiento sencillo, que solo requiere conocimiento de ciertos instrumentos especiales que se usan para medir dimensiones accesibles. Sin embargo no siempre es posible medir algunas dimensiones y en otros casos es más costoso medirlas que calcularlas, por lo que en base a dimensiones de fácil medición, se calculan aquellas que presentan cierto grado de dificultad en su medición (Cancino, 2006).

### ***3.2.1 Diámetro a la altura del pecho***

El DAP es la variable que más habitualmente miden los forestales, principalmente porque es la dimensión más fácil de medir en los arboles; es sensitiva a los cambios ambientales y a la densidad del rodal; y está estrechamente relacionada con la altura total, el volumen del fuste, la biomasa del árbol y el tamaño de la copa, variables importantes y de difícil medición en árboles en pie (Cancino, 2006).

La altura de medición del DAP varía en las diferentes regiones del mundo. Así, por ejemplo, en Europa, Canadá, Reino Unido, Australia y Chile, entre otros, el DAP se mide a una altura de 1,30 m desde el nivel del suelo, en cambio, en Estados Unidos, la medición se realiza a 4,5 pies, esto es aproximadamente a 1,37 m de altura. Esa variabilidad en la altura debe tenerse presente en el momento de comparar variables que involucren el DAP en su determinación y hayan sido obtenidas en regiones que difieren en la altura de medición del DAP (Cancino, 2006).

### ***3.2.2 Mediciones del DAP en diferentes tipos de terrenos***

De acuerdo con Cancino (2006), la medición del DAP a una altura de 1,30 m desde suelo se debe realizar como se indica en la figura 1.

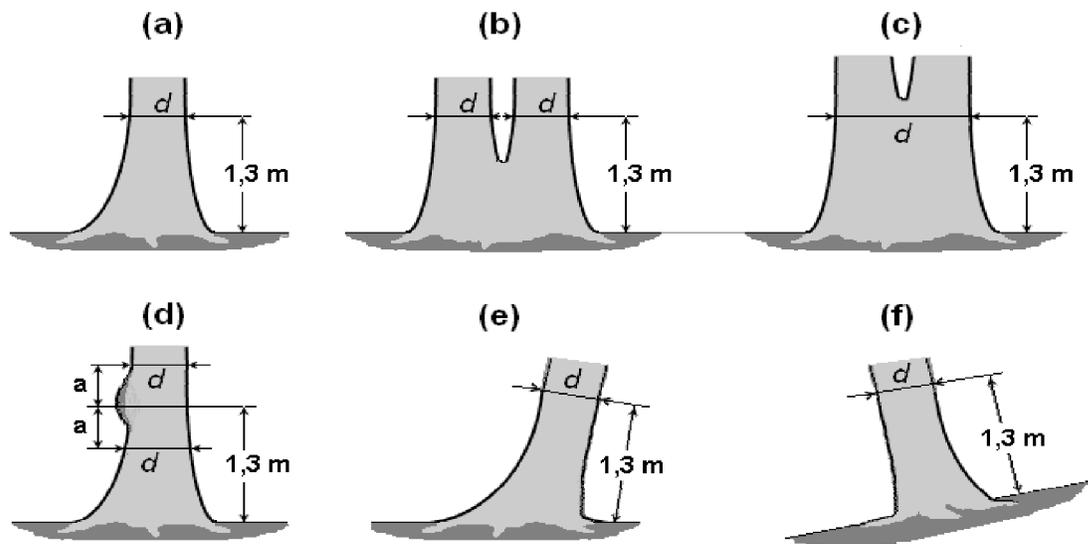


Figura 1. Definición de la altura de medición del DAP en (a) arboles rectos, normales y terreno bifurcados bajo 1,3 m de altura en el fuste; (c) arboles bifurcados sobre 1,3; (d) árbol defectuoso a la altura de 1,3 m; (e) arboles inclinados; (f) en terreno con pendiente. Fuente: (Cancino, 2006).

### 3.2.3 Medición de alturas

La altura es la longitud de la línea recta que va desde el suelo (base del fuste) hasta algún punto a lo largo del árbol. Según sea la posición de ese punto, según Cancino (2006) se definen cinco alturas diferentes:

- i) *Altura total*, medida entre el suelo y el extremo de la yema terminal del fuste (ápice).
- ii) *Altura fustal*, medida entre el suelo y el punto donde comienza la copa (viva o muerta) del árbol.
- iii) *Altura comercial*, medida entre el suelo y el punto donde el fuste tiene un diámetro comercial definido.
- iv) *Altura de tocón*, medida entre el suelo y la base del primer trozo.

v) *Altura de copa viva*, medida entre el suelo y el inicio de la copa viva. Después del DAP, la altura es la variable más medida en los árboles.

La altura se utiliza para caracterizar un rodal, estimar el volumen o determinar la calidad de sitio. También se utiliza para clasificar arboles; por ejemplo, la clasificación de Kraft define cinco categorías de árboles según su altura y posición relativa: dominante, codominante, intermedio, suprimido y muerto; esta clasificación puede tomarse como base para objetivos de manejo silvícola (Cancino, 2006).

La medición en arboles de altura pequeña (menor a 15m) puede realizarse directamente, mediante cintas métricas o varas telescópicas. La medición en árboles grandes se realiza indirectamente, mediante instrumentos ópticos denominados hipsómetros. Estos miden alturas en base a relaciones entre lados de triángulos semejantes (*hipsómetros Christen y Merritt*) o bien, en base a tangentes de ángulos (*hipsómetros Haga, Blume-Leissy Suunto*). Para realizar la medición, el operario se posiciona a cierta distancia del árbol, apunta con el instrumento a la base y a otro punto de interés en el árbol, y realiza la lectura en la escala del instrumento en cada oportunidad. Considerando los valores sobre la horizontal como positivos y aquellos bajo la horizontal como negativos, el valor absoluto de la diferencia entre ambas mediciones entrega la altura buscada (Prodan, Cox & Real, 1997).

### **3.3 Volumen de fustes**

El volumen ha sido y sigue siendo la forma de expresión de la cantidad de madera, contenida en árboles y rodales, más ampliamente utilizada a escala mundial. Tratándose del volumen total de madera contenido en un rodal, el mismo puede considerarse como la suma de los volúmenes de los árboles en pie comprendidos en él. En consecuencia, la forma de acceder a su conocimiento es por medio de la estimación del volumen de sus árboles individuales (Prodan *et al.*, 1997). En el área forestal, a este procedimiento se le denomina cubicación.

En las teorías clásicas de las ciencias forestales se conocen y se aplican a nivel académico y a nivel comercial, las siguientes fórmulas, que aún en los métodos de cubicación de las teorías modernas, se utilizan como base para la generación de modelos volumétricos y de ahusamiento (Romahn & Ramírez, 2010).

- Smalian:  $V_S = \frac{L}{2}(S_0 + S_l)$
- Huber:  $V_H = S_m * L$
- Newton:  $V_N = \frac{L}{6}(S_0 + 4S_m + S_l)$
- Cono truncado:  $V_{Tc} = \frac{L}{3}(S_0 + S_l + \sqrt{S_0S_l})$
- Neiloide truncado:  $V_{Tn} = \frac{L}{4}[S_0 + S_l + \sqrt[3]{S_0S_l}(\sqrt[3]{S_0} + \sqrt[3]{S_l})]$
- Sub-neiloide truncado:  $V_{Sn} = \frac{L}{4}(S_0 + S_l + 2\sqrt{S_0S_l})$
- Bruce:  $V_B = L \left[ \left(\frac{1}{4}\right) S_0 + \left(\frac{3}{4}\right) S_l \right]$

en donde,

V = Volumen.

L = Longitud del fuste o troza.

S<sub>0</sub> y S<sub>l</sub> = Áreas de las secciones transversales extremas, mayor y menor, del fuste o troza, respectivamente.

S<sub>m</sub> = Área de la sección transversal media del fuste o troza

### **3.3.1 Factor de forma**

De acuerdo con Cancino (2006) el factor de forma se obtiene del coeficiente entre el volumen real del árbol y el volumen de un cuerpo geométrico de referencia, cuyas dimensiones corresponden a las dimensiones generales del árbol (DAP, altura). Al volumen del sólido de referencia también se le denomina volumen aparente.

$$F = \frac{V_r}{V_s}$$

Donde,

F es el factor de forma.

$V_r$  es el volumen real del fuste.

$V_s$  es el volumen del sólido de referencia.

Cuando el sólido de referencia es un cilindro  $V_s = g * h$ , en donde  $g$  = área basal y  $h$  = altura. Como en los factores de forma que se definen a continuación.

### **3.3.2 Factor de forma absoluto**

El factor de forma correspondiente al diámetro medido en la base del fuste, recibe el nombre de *factor de forma absoluto*. De acuerdo a la fórmula anterior,

$$F_0 = \frac{V_r}{g_0 * H}$$

en donde,

$F_0$  es el factor de forma relativo a la base del fuste (0% de la altura total del fuste).

$g_0$  es el área de sección transversal fustal en la base.

H es la altura total del árbol.

### 3.3.3 Factor de forma artificial o falso

Puede ocurrir que dos árboles con igual factor de forma, no posean igual forma. Este factor de forma recibe el nombre de *factor de forma artificial*, quedando definido de la siguiente manera cuando el sólido de referencia es un cilindro (note que el volumen del cilindro en este caso es  $V_s = g \cdot H$ ) (Cancino, 2006).

$$F_{1.3} = \frac{V_r}{g_{1.3} \cdot H}$$

en donde,

$F_{1.3}$  es el factor de forma desde el DAP (diámetro a la altura del pecho).

$g_{1.3}$  es el área de sección transversal a la altura del pecho o normal del fuste.

$H$  es la altura total del árbol (m).

### 3.3.4 Factor de forma natural, verdadero

La influencia del tamaño del árbol sobre el factor de forma se elimina midiendo el diámetro para el sólido de referencia a un porcentaje de la altura total del árbol. Así, el diámetro se obtiene a la misma altura relativa en arboles de diferente altura. El factor de forma correspondiente al diámetro medido a una altura del 10% de la altura total y utilizando el método de Huber para estimar volúmenes seccionales, recibe el nombre de *factor de forma natural* o de Hohenadl. El factor de forma natural cilíndrico se obtiene de la relación siguiente (note que el volumen del cilindro en este caso es  $V_s = g_{0.1} H$ ). (Prodan *et al.*, 1997).

$$F_{0.1H} = \frac{V_r}{g_{0.1} \cdot H}$$

en donde,

$F_{0.1H}$  es el factor de forma al 10% de la altura total del fuste.

$g_{0.1}$  es el área de sección transversal fustal a un décimo de la altura total,

$H$  es la altura total del árbol.

En términos de los diámetros a diferentes alturas relativas, el factor de forma de Hohenadl se expresa como (Wabo, 2006):

$$0.2 * \left( 1 + \left( \frac{d_{0.3}^2}{d_{0.1}^2} \right) + \left( \frac{d_{0.5}^2}{d_{0.1}^2} \right) + \left( \frac{d_{0.7}^2}{d_{0.1}^2} \right) + \left( \frac{d_{0.9}^2}{d_{0.1}^2} \right) \right) = f_{0.1}$$

En particular, esta última fórmula es la que se utilizó en los cálculos de este trabajo. El factor de forma natural toma valores que oscilan entre 0,3 y 0,6. Los sólidos geométricos básicos presentan valores de factor de forma natural entre 0,34 y 0,56 (paraboloide: 0,56; cono: 0,41; neiloide: 0,34) (Prodan *et al.*, 1997).

### 3.4 Modelos de forma

Los fustes de los árboles normalmente no adoptan la forma de un tipo dendrométrico en toda su longitud, pero es posible identificar a éstos o a sus truncados, en segmentos del fuste como se muestra en la Figura 2 (Romahn & Ramírez, 2010).

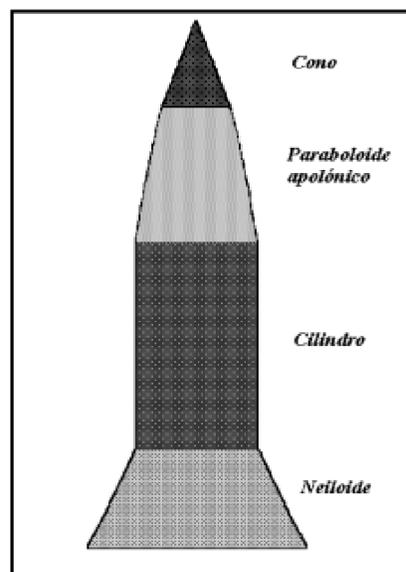


Figura 2. Identificación de los diferentes tipos dendrométricos de sus truncados en el fuste de un árbol. Fuente: Romahn y Ramírez, 2010.

Los cuerpos de rotación más simples que se acercan a cada parte del fuste son: el cilindro, el paraboloides, el cono y el neiloide y se presentan en la Figura 3. (Prodan *et al*, 1997).

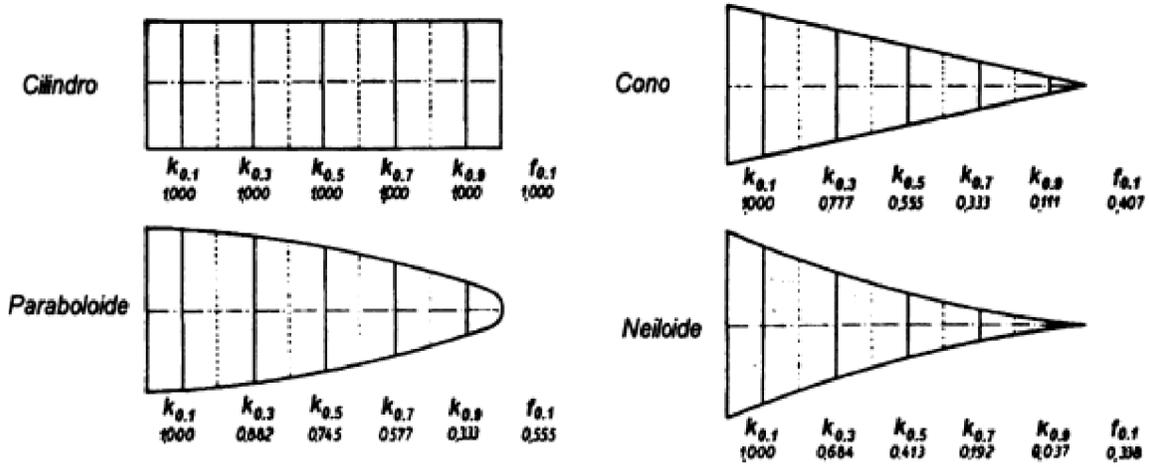


Figura 3. Cuerpos teóricos de rotación. Fuente: Prodan *et al*, 1997.

# CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

## 4.1. Zona de estudio

El muestreo se llevó a cabo en la reserva natural Arrayanales, localizada en el Corregimiento de Quintana, Micro cuenca río las Piedras, Municipio de Popayán en Colombia. La reserva se encuentra en las coordenadas N. 2°26'52.21 y O. 75° 25'52.21. la finca está constituida como reserva de la sociedad civil y hace parte de la red de reservas de Popayán, está ubicada a una altura de 2400 a 2893 msnm y una temperatura promedio de 15°C con pendientes del 13 al 25 % propiedad del señor Hugo Hernán Collazos Ortega (Figura 4).

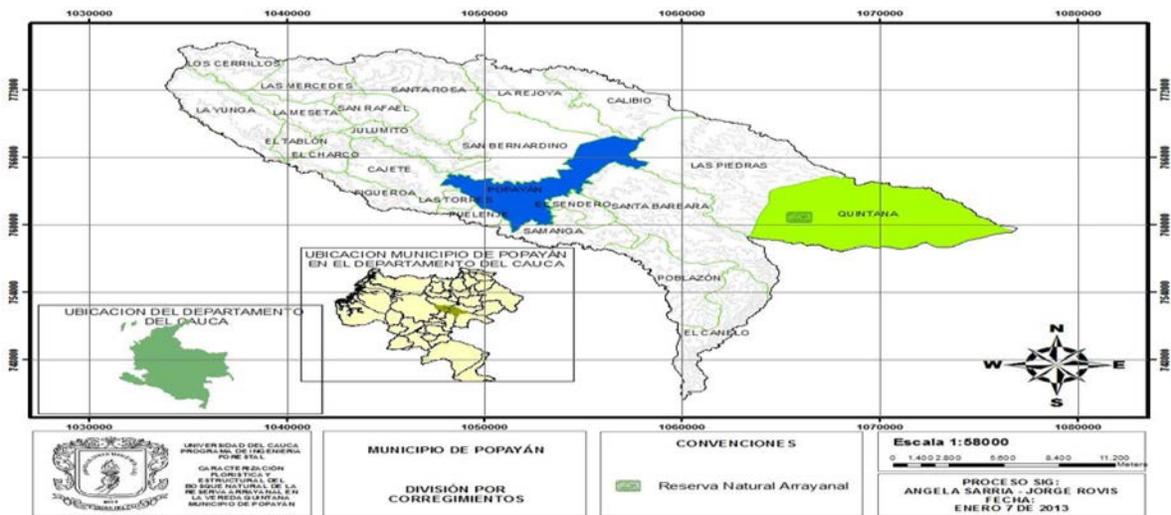


Figura 4. Localización zona de estudio, Vereda Quintana, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca. Fuente: (Rovis y Sarria, 2013).

La reserva natural Arrayanales cuenta con un área total de 151.73 hectáreas, de las cuales 62.6 hectáreas son bosque natural secundario. Es una de las reservas con mayor área de bosque natural, el área se encuentra en el valle lo que permite la ascensión permanente de masas de humedad que corresponden a condiciones climáticas locales.

El bosque de la reserva (Figura 5), corresponde a un bosque mixto alto andino, presenta una alta riqueza de árboles y arbustos con  $DAP \geq 5\text{cm}$ , correspondientes a 51 especies, agrupadas en 34 familias y 40 géneros. Las familias más representativas en número de individuos son: MELIACEAE 11%, FAGACEAE 10% y MYRTACEAE 9%. Las especies más abundantes son *Guarea kunthiana* 11,14%, *Quercus humboldtii* 9,87%, *Myrcianthes leucoxylo* 8,11%, *Nectandra reticulata* 8,11%, *Chrysochlamys colombiana* 7,33% y *Hieronyma macrocarpa* 6,35%, las demás reportaron abundancia por debajo del 5,2% (Rovis & Sarria, 2013).



Figura 5. Fragmento de bosque Andino de la zona de estudio. Fuente: (Rovis y Sarria, 2013).

## 4.2 Muestreo

La medición y obtención de los datos se realizó en 33 parcelas permanentes de monitoreo, mediante un muestreo no destructivo. Se eligieron 6 especies dominantes de este bosque, luego de realizar un inventario forestal con parcelas anidadas de 20x20 metros, tomando árboles con  $DAP \geq 10\text{cm}$ . Posteriormente se eligieron 150 individuos distribuidos entre las 6 especies y a cada individuo se le midieron 11 diámetros a distancias iguales, dependiendo de su altura total, logrando obtener 10 segmentos por cada árbol. Los diámetros en la parte baja se midieron directamente con cinta diamétrica y en las partes altas con relascopio.

Los individuos muestreados de cada especie, se subdividieron en 3 clases diamétricas ( $10\text{cm} \leq \text{DAP} \leq 30\text{cm}$ ,  $30\text{cm} < \text{DAP} \leq 50\text{cm}$ , y  $50\text{cm} < \text{DAP} \leq 80\text{cm}$ ) con el fin de observar a través de los cálculos y las pruebas estadísticas, si hay o no cambios significativos en la forma del fuste a medida que crecen.

### 4.3 Volumen y factor de forma

Para evaluar los métodos seccionales se optó por tomar los fustes seccionados en 5 y en 10 partes, para posteriormente observar si hay o no diferencias al seccionar entre 5 o más partes. También se tomó en cuenta generar cilindros a tres alturas de diámetro distintas ( $D_0$  = diámetro a la base,  $D_{0.1}$  = diámetro al 10% de la altura del fuste,  $\text{DAP}$  = diámetro a la altura del pecho o diámetro normal a 1.30 metros), para hallar los factores de forma de cada fuste como se indica en la Figura 6.

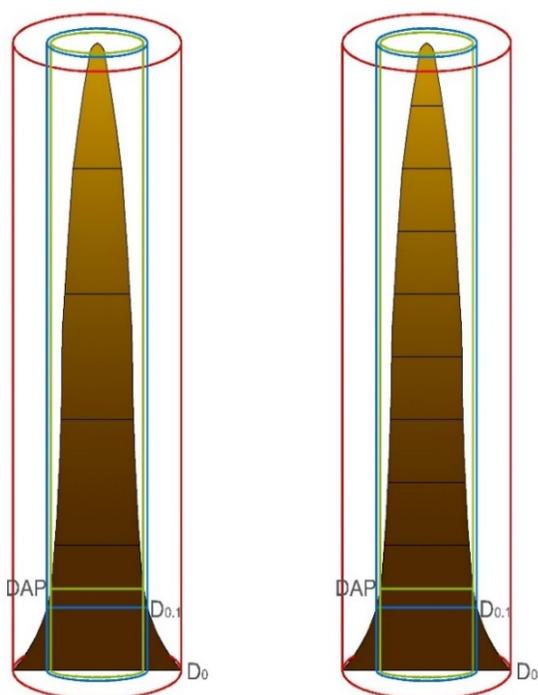


Figura 6. Fustes de muestreo con 5 y 10 secciones.

Para los fustes de 5 secciones se utilizaron los métodos de Hohenadl, Smalian, Hubber, Newton, cono truncado, neiloide truncado, sub-neiloide truncado y Bruce. Para los fustes de 10 secciones

se aplicaron los métodos de Smalian, como truncado, neiloide y sub-neiloide, debido a que estos cuatro métodos no necesitan diámetros medios.

#### **4.4 Procesamiento de datos**

Para el procesamiento de datos, se utilizaron dos formatos de Excel para fustes de 5 secciones y fustes de 10 secciones, en las cuales se organizaron los datos y se realizaron los cálculos de volumen y de factores de forma, mediante métodos seccionales. Luego se realizó un análisis estadístico elemental donde se obtuvo la estimación de las medidas convencionales de tendencia central y de dispersión del volumen y factores de forma, como función del número de segmentos y de la especie. Los resultados obtenidos de estas estimaciones, se encuentran en el capítulo 6 del presente estudio.

#### **4.5 Análisis de varianza y comparaciones múltiples**

Mediante el software Statistical Product and Service Solutions (IBM SPSS), se realizaron pruebas estadísticas convencionales de análisis de varianza para la comparación de los factores de forma como función de los métodos, especies y clases diamétricas, considerando las pruebas de Tukey y Duncan, para las comparaciones entre pares. En este estudio se realizaron análisis de varianza de un factor y de dos factores con el fin de encontrar diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes interacciones y usando en todas las pruebas el factor de forma como variable dependiente y la especie, el método y la clase diamétrica como variables independientes, con un  $\alpha = 0.05$ . Para realizar los análisis de varianza o pruebas de ANOVA, fue necesario realizar las pruebas de homogeneidad de varianzas para cada caso. Para el análisis estadístico de la primera troza, se utilizó como variable dependiente el volumen y como variable independiente el método. Los resultados de estas pruebas estadísticas se encuentran en el capítulo 7 del presente trabajo.

# CAPÍTULO 5. RESULTADOS PARA VOLUMEN Y FACTOR DE FORMA DE LAS SEIS ESPECIES EVALUADAS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CUBICACIÓN

## 5.1 Resultados para el volumen

Se obtuvieron los resultados de volumen para cada especie con los diferentes métodos de cubicación considerados, para las tres clases diamétricas, usando datos de fustes divididos en 5 y 10 secciones. En el cuadro 1 se presenta como ejemplo, el volumen promedio por clase diamétrica para la especie *Chrysochlamys colombiana*. Los cuadros de volúmenes promedio para las otras cinco especies de este estudio, se presentan en el anexo A.

### 5.1.1 Volumen promedio de fustes divididos en 5 secciones para las seis especies de estudio

En el cuadro 1, se muestran los resultados de volumen promedio por clases diamétricas para cada especie, usando los 7 diferentes métodos de cubicación en estudio. Estos volúmenes corresponden a la sumatoria del volumen de cada sección de fuste.

Cuadro 1 Volumen de *Chrysochlamys colombiana* en fuste de 5 secciones.

Métodos	Promedio de volumen de (m <sup>3</sup> ) <i>Chrysochlamys colombiana</i>		
	10≤DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80
<b>Hohenadl</b>	0.191273188	0.900524819	2.955078581
<b>Smalian</b>	0.200865595	0.861306057	2.969864199
<b>Newton</b>	0.201048935	0.87229038	2.976346434
<b>Cono truncado</b>	0.199445633	0.854309715	2.940716501
<b>Neiloide</b>	0.198970383	0.851967922	2.930912984
<b>Sub-neiloide</b>	0.198735652	0.850811544	2.926142652
<b>Bruce</b>	0.183553122	0.780287958	2.701729177
<b>Vol. de referencia*</b>	1,729571087	3,93151432	6,985841177

\*Volumen de referencia tomando un cilindro desde el D<sub>0</sub> y con altura comercial (HC).

Como se observa en el cuadro 1, los volúmenes promedio de la clase diamétrica  $10 \leq DAP \leq 30$  se encuentran entre  $0.1835$  y  $0.201m^3$ , mientras que la clase diamétrica  $30 < DAP \leq 50$  presenta volúmenes promedio entre  $0.7802$  y  $0.9005m^3$ , en cuanto a la clase diamétrica  $50 < DAP \leq 80$ , presenta volúmenes promedio entre  $2.7017$  y  $2.9698m^3$ . De lo anterior se puede observar que el volumen promedio de los fustes de la clase diamétrica  $50 < DAP \leq 80$ , es más de diez veces el volumen de la clase diamétrica  $10 \leq DAP \leq 30$ . Al observar el volumen del sólido de referencia para cada clase diamétrica, en este caso un cilindro, se puede apreciar la gran diferencia de volumen que causa el ahusamiento del fuste.

Para cada especie se realizaron los cálculos de volumen y se obtuvieron cuadros de resultados como el anterior, los cuales se han enviado en el apartado de anexos A; así mismo las gráficas de volumen para cada especie con cada uno de los métodos evaluados como se muestra en la Figura 7 y los cuadros de los estadísticos descriptivos para cada método.

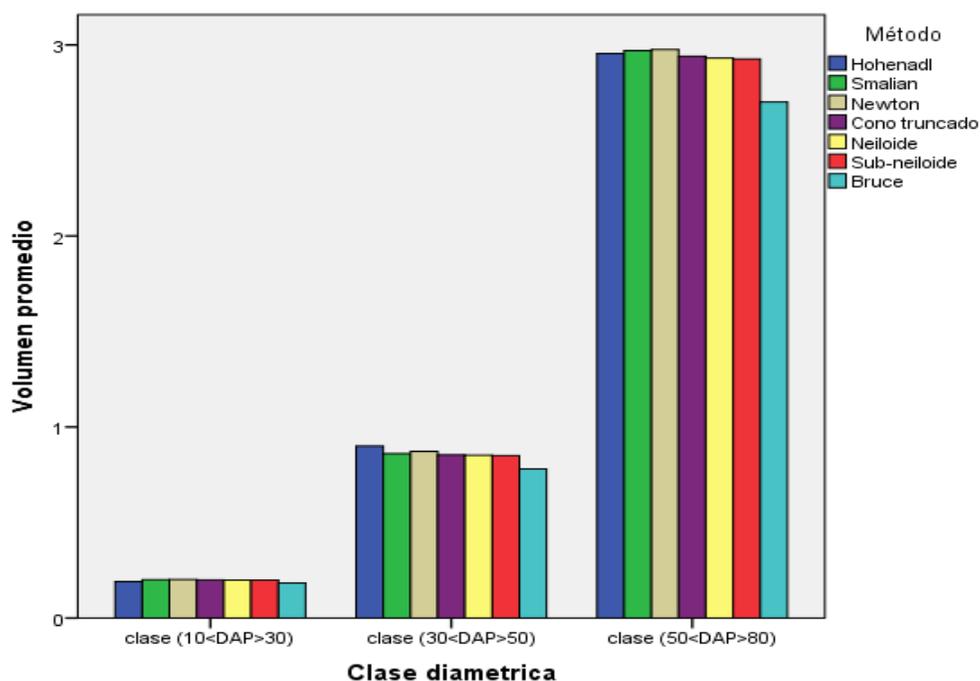


Figura 7. Volumen por clase diamétrica de *Crysoclamys c.* con cada método

### 5.1.2 Volumen promedio de fustes divididos en 10 secciones para las seis especies de estudio

En el cuadro 2 se muestran los resultados de volumen promedio por clase diamétrica para la especie *Chrysochlamys colombiana*, usando cuatro diferentes métodos de cubicación que fueron; Smalian, cono truncado, neiloide y sub-neiloide. El mismo procedimiento se realizó para las 6 especies, tomando fustes divididos en 10 secciones y se agregan en el anexo A.

Cuadro 2. Volumen de *Chrysochlamys c.* para fuste de 10 secciones.

Métodos	Promedio de volumen (m <sup>3</sup> ) de <i>Chrysochlamys colombiana</i>		
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80
<b>Smalian</b>	0.200309401	0.856758815	2.999758116
<b>Cono truncado</b>	0.199950314	0.854973365	2.991583541
<b>Neiloide</b>	0.199830492	0.854377516	2.988851291
<b>Sub-neiloide</b>	0.199770771	0.85408064	2.987496254
<b>Vol. De referencia*</b>	1,729571087	3,93151432	6,985841177

\*Volumen de referencia tomando un cilindro desde el D<sub>0</sub> y con altura comercial (HC).

Los volúmenes promedio obtenidos para fustes de 10 secciones, tienen valores similares a los volúmenes promedio, obtenidos en fustes de 5 secciones, como se mostraron en el cuadro 1, sin embargo los rangos de volumen entre clase diamétrica para fustes de 10 secciones, son menores entre las clases diamétricas.

En la figura 8 se presentan los volumens promedio de la especie *Chrysochlamys c.* por clase diamétrica para los cuatro métodos evaluados en fustes de 10 secciones.

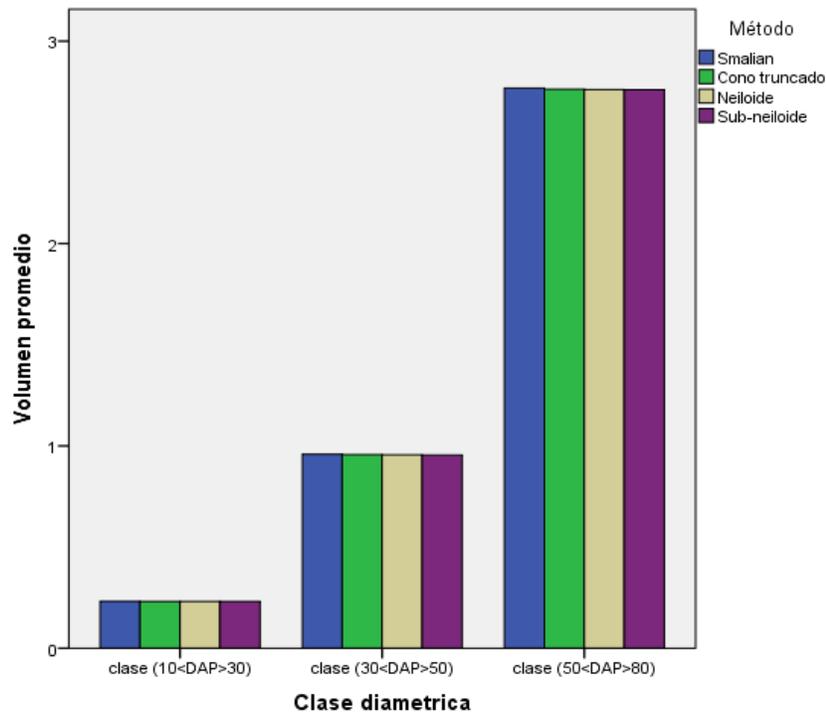


Figura 8. Volúmenes promedio de *Chrysochlamys c.* en fustes de 10 secciones.

Como se puede observar en la figura 8, en fustes de 10 secciones, todos los métodos seccionales utilizados para el cálculo de volumen, dan resultados casi iguales entre ellos, en cada una de las clases diamétricas. Esta similitud de resultados, ocurre en las otras 5 especies evaluadas en este estudio.

## 5.2 Resultados para el volumen promedio del primer segmento en la base del tronco

Se realizaron las estimaciones correspondientes al volumen de la primera troza, utilizando los métodos de Bruce, neiloide truncado y subneiloide truncado, para cada especie y por clases diamétricas, obteniendo los resultados que se muestran en los cuadros 3 al 5.

Cuadro 3. Volumen promedio de la primera troza con el método de Bruce.

<b>Promedio de Volumen (m<sup>3</sup>) de Bruce D<sub>0</sub></b>			
<b>Especie</b>	<b>10≤DAP≤30</b>	<b>30&lt;DAP≤50</b>	<b>50&lt;DAP≤80</b>
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.062481	0.284581	0.878471
<i>Guarea kunthiana</i>	0.082315	0.297461	0.809835
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.070102	0.310356	1.098640
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.084614	0.348800	0.789286
<i>Nectandra reticulata</i>	0.081117	0.428838	0.809979
<i>Quercushumboldtii</i>	0.092751	0.259970	0.757370

Cuadro 4. Volumen promedio de la primera troza con el método de neiloide truncado.

<b>Promedio de Volumen (m<sup>3</sup>) de Neiloide truncado D<sub>0</sub></b>			
<b>Especie</b>	<b>10≤DAP≤30</b>	<b>30&lt;DAP≤50</b>	<b>50&lt;DAP≤80</b>
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.069204	0.312220	1.005136
<i>Guarea kunthiana</i>	0.090546	0.328519	0.920854
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.079804	0.331477	1.256120
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.093872	0.377161	0.855577
<i>Nectandra reticulata</i>	0.087579	0.487655	0.907944
<i>Quercushumboldtii</i>	0.101820	0.287609	0.835305

Cuadro 5. Volumen promedio de la primera troza con el método de subneiloide truncado.

<b>Promedio de Volumen (m<sup>3</sup>) de Subneiloide truncado D<sub>0</sub></b>			
<b>Especie</b>	<b>10≤DAP≤30</b>	<b>30&lt;DAP≤50</b>	<b>50&lt;DAP≤80</b>
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.069092	0.311753	1.001660
<i>Guarea kunthiana</i>	0.090418	0.328063	0.918376
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.079602	0.331256	1.253176
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.093719	0.376688	0.854453
<i>Nectandra reticulata</i>	0.087474	0.486213	0.90606
<i>Quercushumboldtii</i>	0.101674	0.287186	0.834192

En la figura 9 se muestran los volúmenes para el primer segmento de fuste, estimados con los tres métodos y por clase diamétrica.

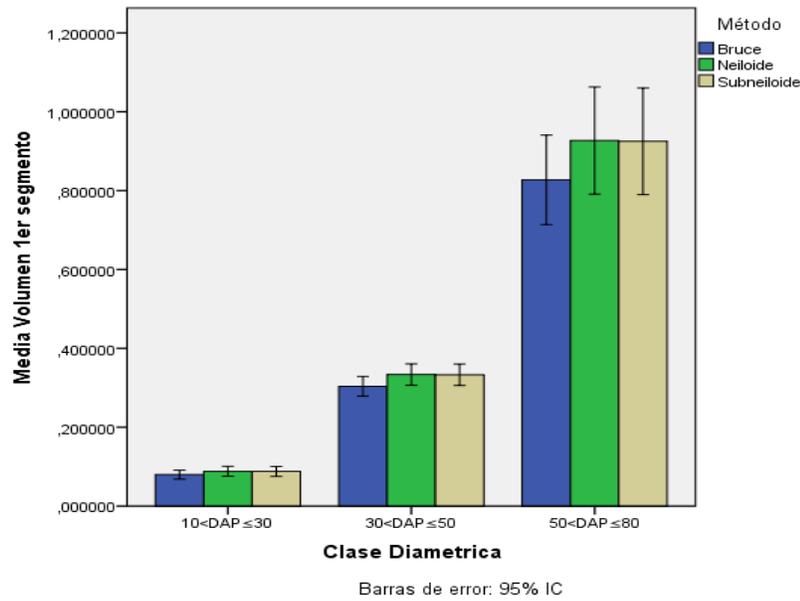


Figura 9. Volumen del primer segmento de fuste.

### 5.3 Resultados para el factor de forma al $D_{0.1}$ para fustes de 5 secciones

El factor de forma de Hohenadl para estimar el volumen de un fuste de árbol, corresponde al uso del método de Huber por secciones normalizado con el volumen de un cilindro cuya área de sección transversal se obtiene a partir del diámetro al  $D_{0.1}$  de la altura y con altura igual a la longitud del fuste. Por consistencia con el trabajo teórico realizado para el factor de forma absoluto y como aportación del presente trabajo, se incluye el cálculo del factor de forma al  $D_{0.1}$  de la altura, para los diferentes métodos seccionales de interés.

#### 5.3.1 Factor de forma promedio por especie para Huber al $D_{0.1}$ (Hohenadl) con 5 secciones

En el cuadro 6 se presentan los resultados de los factores de forma promedio por especie ( $\langle F \rangle_E$ ), para las 6 especies forestales, utilizando el método de Hohenadl que corresponde al método de Huber por secciones.

Cuadro 6. Factor de forma promedio de Hohenadl para las 6 especies objeto de estudio.

Especie	HOHENADL			
	VAR	DESV	COEF VAR	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.01135854	0.106576453	19.32%	<b>0.551616297</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.012768251	0.112996686	20.08%	<b>0.562770336</b>
<i>Hieronima macrocarpa</i>	0.009995194	0.099975967	16.24%	<b>0.615634614</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.016338937	0.127823852	20.66%	<b>0.61870181</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.019923998	0.141152394	23.61%	<b>0.597925756</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.013954409	0.118128782	20.36%	<b>0.580225721</b>

Del cuadro 6 se observa que los resultados estadísticos del coeficiente de variación, muestran una tendencia a la homogeneidad en las muestras tomadas, con coeficientes de variación (CV), menores al 30% (Bautista, 1998), para cada especie y se refleja en los resultados de la varianza y la desviación estándar, los cuales tienen medidas de dispersión bajas con respecto a la media (que en este caso es el  $\langle F_{0.1} \rangle_E$ ).

Se puede observar además que aunque los resultados son de tendencia homogénea, existe una mayor variabilidad en los datos de la especie *Nectandra reticulata* (23,61%), con respecto a las otras especies y que la especie que presentó menor variabilidad de sus datos con el método de Hohenadl, fue la *Hieronima macrocarpa* con 16,24%.

### 5.3.2 Factor de forma promedio por especie para Smalian al $D_{0.1}$ con 5 secciones

Al igual que en el caso anterior, se utilizaron los fustes divididos en cinco partes iguales y para calcular su volumen y factor de forma promedio, se utilizó el método de Smalian, dando como resultado lo que se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Factor de forma promedio de Smalian al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

Especie	SMALIAN			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.008614682	0.092815312	16.66%	<b>0.557092365</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006521609	0.080756479	15.19%	<b>0.531779667</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.007836009	0.088521237	15.48%	<b>0.571844268</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.009085373	0.095317225	17.00%	<b>0.560583659</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.004732073	0.068790065	12.85%	<b>0.53529157</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.009528386	0.097613453	17.29%	<b>0.564416141</b>

Con el método de Smalian se obtuvieron factores de forma aparentemente diferentes a los de Hohenald, así como también sus estadísticos son diferentes entre ambos métodos.

Se observa que la varianza más alta la presenta la especie *Quercus humboldtii* con 0,009528386 y la de menor varianza es *Guarea kunthiana* con 0,006521609, así mismo sus desviaciones estándar presentan el mismo comportamiento para ambas especies.

### 5.3.3 Factor de forma promedio por especie de Newton al $D_{0.1}$ con 5 secciones

Se realizaron los cálculos de estimación de volumen y forma para fustes de 5 secciones, utilizando la fórmula de cubicación de Newton y se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 8.

Cuadro 8. Factor de forma promedio de Newton al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

Especie	NEWTON			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.006765595	0.082253239	14.63%	<b>0.562259059</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.005923391	0.076963568	14.23%	<b>0.540669943</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.007633091	0.087367563	15.14%	<b>0.577143708</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.00760565	0.087210378	15.35%	<b>0.568124634</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.00438141	0.066192222	12.22%	<b>0.541697298</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.010178435	0.100888229	17.91%	<b>0.563162106</b>

Con el método de Newton la varianza más alta se presenta en la especie *Quercus humboldtii* con 0,010178435. Los coeficientes de variación menores al 30%, muestran que los datos de todas las especies de estudio, tienen una tendencia a la homogeneidad.

### 5.3.4 Factor de forma promedio cono truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones

Utilizando el método de cono truncado al 10% de la altura comercial del fuste y con un total de 5 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Factor de forma promedio Cono truncado al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

Especie	CONO TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.008974942	0.094736173	17.15%	<b>0.552432841</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006746616	0.082137784	15.58%	<b>0.527132432</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.00810204	0.090011332	15.87%	<b>0.567014244</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.009288261	0.096375625	17.32%	<b>0.556294422</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.004844415	0.069601833	13.13%	<b>0.529977252</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.009744353	0.098713489	17.54%	<b>0.562797108</b>

### 5.3.5 Factor de forma promedio neiloide truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones

Utilizando el método de neiloide truncado al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 5 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Factor de forma promedio Neiloide truncado al  $D_{0,1}$  con 5 secciones.

Especie	NEILOIDE TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0,1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.009098656	0.095386875	17.32%	<b>0.550871668</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006823691	0.082605633	15.72%	<b>0.52557663</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.008193084	0.090515655	16.01%	<b>0.565397327</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.009358255	0.096738073	17.43%	<b>0.554856956</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.004884124	0.069886507	13.23%	<b>0.52819703</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.009818335	0.099087514	17.65%	<b>0.559006098</b>

### 5.3.6 Factor de forma promedio de Subneiloide (AED) al $D_{0,1}$ con 5 secciones

Utilizando el método de sub-neiloide truncado al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 5 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Factor de forma promedio de Subneiloide (AED) al  $D_{0,1}$  con 5 secciones.

Especie	SUBNEILOIDE			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0,1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.009159152	0.095703458	17.40%	<b>0.550103078</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006861644	0.082835039	15.78%	<b>0.524808815</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.008238144	0.09076422	16.08%	<b>0.564599232</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.009393311	0.096919093	17.49%	<b>0.554149803</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.004903971	0.070028356	13.28%	<b>0.527320094</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.009854822	0.099271455	17.70%	<b>0.558336487</b>

### 5.3.7 Factor de forma promedio de Bruce al $D_{0,1}$ con 5 secciones

Utilizando el método de Bruce al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 5 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Factor de forma promedio de Bruce al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

Especie	BRUCE			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.010239202	0.10118894	20.35%	<b>0.505402726</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.007511101	0.086666609	17.17%	<b>0.48002478</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.009343033	0.096659363	18.35%	<b>0.517351103</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.009852707	0.099260802	20.75%	<b>0.510071282</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.005346995	0.073123147	15.73%	<b>0.480208002</b>
<i>Quercushumboldtii</i>	0.010538514	0.102657264	20.13%	<b>0.514426479</b>

#### 5.4 Comparación preliminar entre los factores de forma para los diferentes métodos seccionales para $D_{0.1}$ y 5 secciones

Finalmente para los fustes de cinco secciones, se realizó una comparación entre los factores de forma promedio de los métodos, utilizando los mismos parámetros estadísticos como son; media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, de lo cual se obtuvo los resultados presentados a continuación en el cuadro 13.

Cuadro 13. Comparación preliminar entre los diferentes métodos para hallar el factor de forma.

Especie	TOTAL ENTRE METODOS			
	VAR	DESV	COEF VAR	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.009159450	0.095705015	17.27%	<b>0.554062551</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.007692789	0.087708544	16.38%	<b>0.535456304</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.008786048	0.093733923	16.25%	<b>0.576938899</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.010663328	0.103263391	18.16%	<b>0.568785214</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.007644575	0.087433263	16.09%	<b>0.5434015</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.010638413	0.103142684	18.27%	<b>0.564657277</b>

Este cuadro resume la comparación entre todos los métodos abordados en el presente estudio, en donde se puede apreciar que los estadísticos como la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación son bajos, sobre todo para las especies *Hieronyma macrocarpa* y *Nectandra reticulata*.

En general, se puede observar que la comparación entre los métodos refleja una buena precisión al momento de encontrar los factores de forma, ya que los datos de los resultados se muestran homogéneos y que la variabilidad entre ellos es baja, considerando que la especie con mayor variabilidad en sus datos resultantes entre todos los métodos es la *Quercus humboldtii* con un 18.27%.

## 5.5 Resultados para el factor de forma promedio por especie al $D_{0.1}$ para 10 secciones

Se realizaron pruebas similares a lo visto en los puntos anteriores para hallar factores de forma para las seis especies objeto de estudio y con fustes seccionados en 10 trozos, mediante el uso de cuatro métodos; Smalian, cono truncado, neiloide truncado y subneiloide (AED), se hallaron sus parámetros estadísticos para cada método luego se compararon entre sí.

### 5.5.1 Factor de forma promedio de Smalian al $D_{0.1}$ para 10 secciones

Utilizando el método de Smalian al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 10 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Factor de forma promedio de Smalian al  $D_{0.1}$  para 14 secciones.

Especie	SMALIAN			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.008589604	0.092680115	16.65%	<b>0.556478332</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006485363	0.080531752	15.17%	<b>0.531002012</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.007994342	0.080531752	14.20%	<b>0.567140068</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.008435569	0.091845351	16.45%	<b>0.558418046</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.004725681	0.076696494	14.03%	<b>0.546783959</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.008304856	0.091130982	16.00%	<b>0.569638824</b>

### 5.5.2 Factor de forma de Cono truncado al $D_{0.1}$ para 10 secciones

Utilizando el método de cono truncado al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 10 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Factor de forma promedio de Cono truncado al  $D_{0.1}$  para 10 secciones.

Especie	CONO TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.0086789	0.093160612	16.70%	<b>0.557987389</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006544407	0.08089751	15.27%	<b>0.529815512</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.009007498	0.08089751	14.30%	<b>0.565902069</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.008480776	0.092091128	16.52%	<b>0.55728456</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.005004047	0.070739289	13.03%	<b>0.5427141</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.008333027	0.091285412	16.13%	<b>0.565793208</b>

### 5.5.3 Factor de forma promedio de Neiloide truncado al $D_{0.1}$ y 10 secciones

Utilizando el método de neiloide truncado al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 10 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Factor de forma promedio de Neiloide al  $D_{0.1}$  y 10 secciones.

Especie	NEILOIDE TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.008708906	0.093321522	16.74%	<b>0.557618606</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006564221	0.081019881	15.30%	<b>0.529419553</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.009031554	0.081019881	14.33%	<b>0.565488917</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.017384004	0.092173671	16.55%	<b>0.556906041</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.00476646	0.069039552	12.75%	<b>0.541311166</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.008380638	0.091545827	16.19%	<b>0.565518644</b>

#### 5.5.4 Factor de forma promedio de subneiloide (AED) al $D_{0.1}$ y 10 secciones

Utilizando el método de sub-neiloide truncado al 10% de altura comercial del fuste y con un total de 10 secciones, los resultados obtenidos se proporcionan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Factor de forma promedio de subneiloide (AED) al  $D_{0.1}$  y 10 secciones.

Especie	SUBNEILOIDE TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.008723806	0.093401319	16.76%	<b>0.557434803</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.006574087	0.081080745	15.32%	<b>0.529222262</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.008098597	0.081080745	14.38%	<b>0.565283069</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.008503657	0.092215277	16.56%	<b>0.556717817</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.013183569	0.068387172	12.65%	<b>0.540679171</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.00836192	0.091443537	16.18%	<b>0.565235736</b>

Nota: los mismos procedimientos se aplicaron para la estimación de volumen y factor de forma, para el  $D_0$  (diámetro basal) y para el DAP (diámetro a la altura del pecho). Las tablas y cálculos de esos procedimientos, se encuentran en los anexos, sección B.

#### 5.6 Comparación preliminar entre los factores de forma para los diferentes métodos seccionales para $D_{0.1}$ y 10 secciones

A su vez se puede observar la gran cercanía entre estos dos métodos y los vistos en el punto anterior (Newton y cono truncado), indicándonos en general, que al aplicar estos métodos seccionales cuando los fustes son divididos en mayor número de secciones, estos tienden a presentar valores muy similares entre ellos, esto se puede apreciar en el cuadro 18, de comparación entre los cuatro métodos seccionales, que se presenta a continuación.

Cuadro 18. Comparación preliminar entre los 4 métodos aplicados a 10 trozas.

Especie	TOTAL ENTRE METODOS			
	VAR	DESV	COEF VAR	$\langle F_{0.1} \rangle_E$
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.0084018499	0.091661605	16.43%	<b>0.557757047</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.0062940586	0.079335103	14.98%	<b>0.52956821</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.0077700215	0.088147725	15.62%	<b>0.564242977</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.0082117113	0.098261986	17.64%	<b>0.557048245</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.0045820614	0.067690925	12.77%	<b>0.529908067</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.0081797915	0.0904422	15.99%	<b>0.565585199</b>

En este cuadro se muestra de una forma más clara lo referente a la cercanía o similitud de los resultados arrojados por los cuatro métodos evaluados, obteniendo unos parámetros muy homogéneos. De lo cual se podría inferir que usar cualquiera de estos cuatro métodos, darán resultados con muy buena precisión y cercanos al valor del volumen y factor de forma exacto del fuste que se mida, en el momento en el que se requiera.

Los resultados de los factores de forma promedio  $\langle F_0 \rangle_E$  y  $\langle F_{DAP} \rangle_E$ , se encuentran en el apartado de anexos sección B.

### **5.7 resultados para los factores de forma promedio por clases diamétricas para los diferentes métodos seccionales con 5 secciones de fuste**

En el manejo forestal es muy importante realizar una clasificación de información tomando en cuenta clases diamétricas. En el apéndice que se anexa a este trabajo, se incluyen los resultados para el factor de forma como función de clases diamétricas convencionales en el área.

A continuación se presenta los resultados de factores de forma por clase diamétricas de cada especie y con cada uno de los métodos evaluados.

### 5.7.1 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_{0.1}$ con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*

En el cuadro 19 se presentan los resultados para los factores de forma promedio de clase diamétrica ( $\langle F_{0.1} \rangle_{CD}$ ), estimados para la especie *Chrysochlamys colombiana*, utilizando 7 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo.

Cuadro 19. Factores de forma promedio por clase diamétrica al  $D_{0.1}$  con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*.

Método	Factor de forma promedio para <i>Chrysochlamys colombiana</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_{0.1} \rangle_{CD}$
<b>Hohenadl</b>	0.51307766	0.5722027	0.56956853	<b>0.5516163</b>
<b>Smalian</b>	0.54425439	0.54938598	0.57763673	<b>0.55709236</b>
<b>Newton</b>	0.54792799	0.55755896	0.581290227	<b>0.56225906</b>
<b>Cono truncado</b>	0.53944737	0.54485161	0.572999544	<b>0.55243284</b>
<b>Neiloide</b>	0.53783829	0.54333376	0.571442952	<b>0.55087167</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.53704386	0.54258442	0.570680951	<b>0.55010308</b>
<b>Bruce</b>	0.49046376	0.49725308	0.528491336	<b>0.50540273</b>

El mismo procedimiento se realizó para todas las especies al  $D_{0.1}$  con 5 secciones, con todos los métodos evaluados y se encuentran como anexos en la sección B.

### 5.7.2 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ (diámetro de la base) con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*

En el cuadro 20 se presentan los resultados para los factores de forma estimados para la especie *Chrysochlamys colombiana*, al diámetro basal ( $D_0$ ) para 5 secciones, utilizando 7 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo.

Cuadro 20. Factores de forma promedio por clases diamétricas al  $D_0$  con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*.

Método	factor de forma promedio para <i>Chrysochlamys colombiana</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_0 \rangle_{CD}$
<b>Huber</b>	0.435273034	0.45476017	0.485584063	<b>0.45853909</b>
<b>Smalian</b>	0.439440783	0.45989325	0.482521482	<b>0.46061851</b>
<b>Newton</b>	0.442311539	0.46722294	0.487601692	<b>0.46571206</b>
<b>Cono truncado</b>	0.435688424	0.45618096	0.478916804	<b>0.45692873</b>
<b>Neiloide</b>	0.434432456	0.45493831	0.477707589	<b>0.45569279</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.433812244	0.45432481	0.477114465	<b>0.45508384</b>
<b>Bruce</b>	0.396797212	0.41686954	0.442547079	<b>0.41873794</b>

Los cuadros de los resultados correspondientes a las otras especies, se presentan en los anexos, sección B.

### 5.7.3 Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*

En el cuadro 21 se presentan los resultados para los factores de forma estimados para la especie *Chrysochlamys colombiana*, al diámetro normal (DAP) para 5 secciones, utilizando 7 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo.

Cuadro 21. Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 5 secciones para la especie *Chrysochlamys colombiana*.

Método	factor de forma promedio para <i>Chrysochlamys colombiana</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_{1.3} \rangle_{CD}$
<b>Huber</b>	0.67565725	0.614076236	0.69300915	<b>0.66091421</b>
<b>Smalian</b>	0.68304085	0.620648842	0.6926479	<b>0.66544586</b>
<b>Newton</b>	0.68820296	0.630454296	0.69263954	<b>0.67043227</b>
<b>Cono truncado</b>	0.67679477	0.615552818	0.68622954	<b>0.65952571</b>
<b>Neiloide</b>	0.67470371	0.6138469	0.68407262	<b>0.65754108</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.67367173	0.613004806	0.68302035	<b>0.65656563</b>
<b>Bruce</b>	0.61441789	0.562075823	0.63005673	<b>0.60218348</b>

## 5.8 Resultados para los factores de forma promedio por clase diamétrica y método seccional con 10 secciones de fuste

Al igual que se hizo con fustes a 5 secciones, también se realizaron estimaciones de volumen y forma para fustes con 10 secciones, utilizando cuatro métodos de cubicación: Smalian, cono truncado, neiloide truncado y subneiloide truncado.

Así mismo de momento se presentará un ejemplo de cómo quedaron resumidas las estimaciones para cada especie en sus clases diamétricas y con cada uno de los 4 métodos evaluados en esta sección. Los cuadros de resultados para las otras especies, se presentan en el apartado de anexos, sección B.

### 5.8.1 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_{0.1}$ con 10 secciones para la especie *Quercus humboldtii*

En el cuadro 22 se presentan los resultados para los factores de forma estimados para la especie *Quercus humboldtii*, al diámetro natural ( $D_{0.1}$ ) para 10 secciones, utilizando 4 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo.

Cuadro 22. Factores de forma promedio por clases diamétricas al  $D_{0.1}$  para fustes de 10 secciones de la especie *Quercus humboldtii*.

Método	factor de forma promedio para <i>Quercus humboldtii</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_{0.1} \rangle_{CD}$
<b>Smalian</b>	0.523454278	0.563988407	0.62147379	<b>0.569638824</b>
<b>Cono truncado</b>	0.522158889	0.564553723	0.61066701	<b>0.565793208</b>
<b>Neiloide</b>	0.521726377	0.56448981	0.61033974	<b>0.565518644</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.521511195	0.564019235	0.61017678	<b>0.565235736</b>

### 5.8.2 Factores de forma promedio por clases diamétricas al $D_0$ con 10 secciones para la especie *Quercus humboldtii*

En el cuadro 23 se presentan los resultados para los factores de forma estimados para la especie *Quercus humboldtii*, al diámetro basal ( $D_0$ ) para 10 secciones, utilizando 4 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo.

Cuadro 23. Factores de forma promedio por clases diamétricas al  $D_0$  para fustes de 10 secciones de la especie *Quercus humboldtii*.

Método	factor de forma promedio para <i>Quercus humboldtii</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_0 \rangle_{CD}$
<b>Smalian</b>	0.44144507	0.467919174	0.51197536	<b>0.473779867</b>
<b>Cono truncado</b>	0.44038026	0.466869649	0.51118161	<b>0.472810505</b>
<b>Neiloide</b>	0.44002471	0.466762352	0.51091668	<b>0.472567913</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.43984785	0.466437661	0.51078474	<b>0.472356749</b>

### 5.8.3 Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP con 10 secciones para la especie *Quercus humboldtii*

En el cuadro 24 se presentan los resultados para los factores de forma estimados para la especie *Quercus humboldtii*, al diámetro normal (DAP) para 10 secciones, utilizando 4 métodos seccionales de cubicación de madera considerados en este trabajo. Los resultados para las otras 5 especies, se encuentran en el apartado de anexos, sección B.

Cuadro 24. Factores de forma promedio por clases diamétricas al DAP para fustes de 10 secciones de la especie *Quercus humboldtii*.

Método	factor de forma promedio para <i>Quercus humboldtii</i>			
	$10 \leq DAP \leq 30$	$30 < DAP \leq 50$	$50 < DAP \leq 80$	$\langle F_{1.3} \rangle_{CD}$
<b>Smalian</b>	0.66748733	0.70026259	0.71179074	<b>0.69318022</b>
<b>Cono truncado</b>	0.66579778	0.69858488	0.7106364	<b>0.691673021</b>
<b>Neiloide</b>	0.66523361	0.69844877	0.7102511	<b>0.69131116</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.66495301	0.69790786	0.71005924	<b>0.690973367</b>

## **CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA DE RESULTADOS PARA EL VOLUMEN DEL PRIMER SEGMENTO Y LOS FACTORES DE FORMA**

Se realizó un análisis de varianza para verificar si las estimaciones de volumen de la primera sección, en la base del fuste, presentaban diferencias estadísticas entre ellas ó no, utilizando los tres métodos considerados para este objetivo. También, se realizaron análisis de varianza de los factores de forma, de uno y dos factores, con un nivel de significancia estadística de  $\alpha = 0.05$ , para todos los casos, con el fin de comparar los resultados de los tres tipos de factores de forma  $F_0$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{DAP}$  obtenidos por clase diamétrica, para cada especie, y por método seccional utilizado. Inicialmente se realizó un análisis de varianza de un factor para observar si existen ó no diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de los factores de forma, representando éstos a la variable dependiente y como variables independientes se tienen a la clase diamétrica, la especie, y el método. Posteriormente, se utilizó el análisis de dos factores para tener un panorama más claro, sobre las interacciones entre la variable dependiente y las variables independientes.

### **6.1 Análisis de varianza de un factor para el volumen de la primera troza**

En este caso, la prueba de hipótesis para el análisis de varianza se planteó como sigue:

$H_0$ : No existen diferencias estadísticas entre los métodos de Bruce, neiloide y subneiloide, para la estimación de volumen del primer segmento del fuste.

$H_1$ : Al menos uno de los tres métodos evaluados para la estimación del primer segmento de fuste, es estadísticamente diferente a los otros dos métodos.

Como resultado del análisis de varianza se obtuvo lo que se presenta en el cuadro 25.

Cuadro 25 ANOVA para volumen del primer segmento

**ANOVA de un factor**

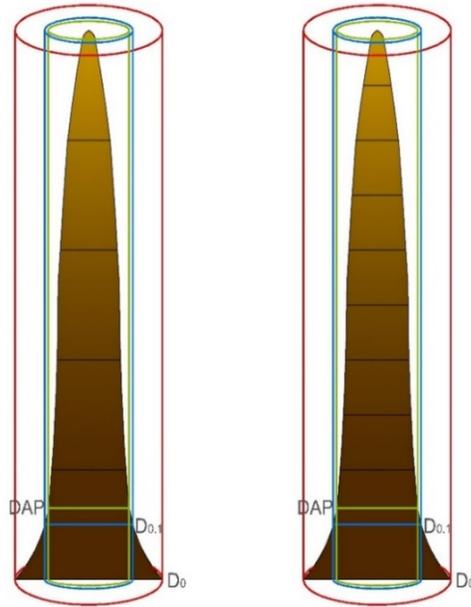
Volumen 1er segmento

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.157	2	0.079	0.570	0.566
Intra-grupos	60.803	441	0.138		
Total	60.960	443			

De lo anterior podemos concluir que cualquiera de los tres métodos que utilizemos para el cálculo de la primera troza o primer segmento del fuste, ofrecerá un resultado estadísticamente igual a los otros dos métodos y por tanto no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

## 6.2 Pruebas de análisis de varianzas de un factor

Se realizaron pruebas de análisis de varianzas para determinar si había igualdades o diferencias estadísticas entre los factores de forma resultantes de las diferentes estimaciones hechas. Cabe recordar que el estudio realizado sobre volumen y factores de forma del fuste, de las especies de interés, corresponde a dos situaciones particulares: i) fuste seccionado en 5 segmentos y ii) fuste seccionado en 10 segmentos. El análisis de varianza que se presenta en este capítulo, corresponde a dichas situaciones. Como apoyo en la lectura de este trabajo, los modelos de fuste para ambos casos, así como los correspondientes cilindros de referencia que definen a los diferentes factores de forma (figura 6), se muestran nuevamente a continuación.



Fustes de muestreo con 5 y 10 secciones.

A continuación se presentaran un ejemplo de las pruebas de análisis de varianza realizadas para los tres diámetros de referencia ( $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y DAP) y el resto se enviaran al apartado de anexos, sección C.

### ***6.2.1 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al $D_{0.1}$ con 5 secciones de fuste***

$H_0$ : las varianzas son estadísticamente iguales entre las clases diamétricas.

$H_1$ : Existe al menos una varianza diferente a las demás.

En el cuadro 26 se presentan los resultados de la homogeneidad de varianzas para las clases diamétricas, del método seccional de cono truncado.

Cuadro 26 Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al  $D_{0.1}$  (5 secciones).

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

Cono Truncado  $F_{0,1}$

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.072	2	145	0.931

Como el valor p es mayor a 0,05 entonces rechazamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y aceptamos la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales.

De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

$H_0$ : Las medias de las clases diamétricas son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una media de las clases diamétricas, estadísticamente diferente a las demás.

En el cuadro 27 se presentan los resultados de la prueba de ANOVA por clase diamétrica, para el método seccional de cono truncado.

Cuadro 27. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al 10% (5 secciones).

**ANOVA de un factor**

Cono Truncado  $F_{0,1}$

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.072	2	0.036	5.561	0.005
Intra-grupos	0.944	145	0.007		
Total	1.017	147			

El resultado de la prueba de ANOVA nos indica que existe diferencia estadística entre las medias de las clases diamétricas con el método de cono truncado. Por lo tanto rechazamos la hipótesis nula  $H_0$  y aceptamos la hipótesis alterna  $H_1$ .

Las pruebas de comparaciones múltiples se realizaron utilizando los métodos de Tukey y Duncan, en el cuadro 28 se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 28. Prueba de comparaciones múltiples Tukey y Duncan para clases diamétricas con cono truncado al  $F_{0,1}$ .

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Cono Truncado  $F_{0.1}$

	(I) Clase diamétrica	(J) Clase diamétrica	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	p
Tukey	Clase $10 \leq DAP \leq 30$	Clase $30 < DAP \leq 50$	-0.023960307	0.015372459	0.267
		Clase $50 < DAP \leq 80$	-0.059065437*	0.017715884	0.003
	Clase $30 < DAP \leq 50$	Clase $10 \leq DAP \leq 30$	0.023960307	0.015372459	0.267
		Clase $50 < DAP \leq 80$	-0.035105129	0.016861598	0.097
	Clase $50 < DAP \leq 80$	Clase $10 \leq DAP \leq 30$	0.059065437*	0.017715884	0.003
		Clase $30 < DAP \leq 50$	0.035105129	0.016861598	0.097
Duncan	Clase $10 < DAP > 30$	Clase $30 < DAP \leq 50$	-0.023960307	0.015372459	0.364
		Clase $50 < DAP \leq 80$	-0.059065437*	0.017715884	0.003
	Clase $30 < DAP \leq 50$	Clase $10 \leq DAP \leq 30$	0.023960307	0.015372459	0.364
		Clase $50 < DAP \leq 80$	-0.035105129	0.016861598	0.117
	Clase $50 < DAP \leq 80$	Clase $10 \leq DAP \leq 30$	0.059065437*	0.017715884	0.003
		Clase $30 < DAP \leq 50$	0.035105129	0.016861598	0.117

Como resultado se obtiene que la clase 1 ( $10 \leq DAP \leq 30$ ) es estadísticamente diferente de la clase 3 ( $50 < DAP \leq 80$ ) y que la clase 2 ( $30 < DAP \leq 50$ ) no presenta diferencias estadísticas con las otras clases diamétricas. Estas mismas pruebas se realizaron para todas las clases diamétricas, al  $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y al DAP con todos los métodos evaluados para fustes de 5 secciones y se agregan en la sección C de anexos, obteniendo resultados similares al de cono truncado. Por lo que se podría inferir que las especies presentan un cambio en la forma a partir de diámetros mayores a 30cm.

#### **6.2.2 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al $D_0$ con 5 secciones de fuste**

$H_0$ : las varianzas son estadísticamente iguales entre las clases diamétricas.

$H_1$ : Existe al menos una varianza diferente a las demás.

En el cuadro 29 se presenta el resultado de la prueba de homogeneidad de varianzas para los factores de forma obtenidos con el método de cono truncado usando el diámetro de referencia  $D_0$ .

Cuadro 29. Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al  $D_0$  (5 secciones).

**Prueba de homogeneidad de varianzas**  
Cono truncado  $F_0$

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.025	2	145	0.975

Como el valor  $p$  es mayor a 0.05 entonces no se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales. De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

$H_0$ : Las medias de las clases diamétricas son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Se espera que existan diferencias estadísticas entre las medias de las clases diamétricas, lo que se interpretaría como el cambio del factor de forma respecto a la edad de los árboles.

En el cuadro 30 se presenta el resultado de la prueba de ANOVA para cono truncado al  $D_0$ .

Cuadro 30. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al  $D_0$  (5 secciones).

**ANOVA de un factor**  
Cono truncado  $F_0$

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.046	2	0.023	2.560	0.081
Intra-grupos	1.301	145	0.009		
Total	1.347	147			

En este caso rechazamos la hipótesis alterna y se toma en cuenta la hipótesis nula que nos indica que todas las medias de las clases diamétricas son estadísticamente iguales. Por lo tanto no se realizan pruebas de comparaciones múltiples. Estas mismas pruebas se realizaron para todas las clases diamétricas, al  $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y  $DAP$  con todos los métodos evaluados, para fustes de 5 secciones, obteniendo resultados similares al de cono truncado y se presentan en la sección C de anexos. Por lo que se podría inferir que no existen cambios en la forma en los árboles de las

especies objeto de estudio con la edad, sino que hay un cambio en el tamaño. Esto según las pruebas realizadas para los métodos aplicados al diámetro basal  $D_0$ .

### **6.2.3 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, para las clases diamétricas con el método de cono truncado al DAP con 5 secciones de fuste**

$H_0$ : las varianzas son estadísticamente iguales entre las clases diamétricas.

$H_1$ : Existe al menos una varianza diferente a las demás.

En el cuadro 31 se muestran los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas de las clases diamétricas para el método seccional de cono truncado, usando como diámetro de referencia el DAP.

Cuadro 31. Homogeneidad de varianzas para clases diamétricas con cono truncado al DAP (5 secciones).

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
Cono truncado DAP			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.038	2	145	0.963

Como el valor p es mayor a 0,05 entonces no rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales. De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

$H_0$ : Las medias de las clases diamétricas son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una media de las clases diamétricas, estadísticamente diferente a las demás.

En el cuadro 32 se presentan el resultado de la ANOVA para las tres clases diamétricas, usando el método de cono truncado y teniendo como diámetro de referencia el DAP.

Cuadro 32. Prueba de ANOVA para clases diamétricas con cono truncado al DAP (5 secciones).

**ANOVA de un factor**

Cono truncado DAP

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.029	2	0.015	0.877	0.418
Intra-grupos	2.433	145	0.017		
Total	2.462	147			

En este caso no rechazamos la hipótesis nula, que nos indica que todas las medias de las clases diamétricas son estadísticamente iguales. Por lo tanto no se realizan pruebas de comparaciones múltiples. Se podría inferir que no existen cambios en la forma en los árboles de las especies objeto de estudio con la edad, sino que hay un cambio en el tamaño. Esto según las pruebas realizadas para los métodos aplicados al DAP.

**6.2.4 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al  $D_{0.1}$  con 5 secciones de fuste**

$H_0$ : Las varianzas de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una varianza de métodos de cubicación, diferente a las demás.

En el cuadro 33 se presenta el resultado de la prueba de homogeneidad de varianzas, para los factores de forma obtenidos con los diferentes métodos seccionales y usando como diámetro de referencia el  $D_{0.1}$ .

Cuadro 33. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

$F_{0.1}$  de todos los métodos usados en el estudio

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.466	6	35	0.828

Como el valor  $p$  es mayor a 0,05 entonces rechazamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y consideramos la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales. De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

$H_0$ : Las medias de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una media de los métodos de cubicación de madera, estadísticamente diferente a las demás.

En el cuadro 34 se muestran los resultados de la prueba de ANOVA para los métodos seccionales usando como referencia el  $D_{0.1}$ .

Cuadro 34. Prueba de ANOVA entre los métodos usados en el estudio al  $D_{0.1}$  (5 secciones).

**ANOVA de un factor**

$F_{0.1}$  de todos los métodos usados en el estudio

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.027	6	0.004	12.411	0.001
Intra-grupos	0.012	35	0.000		
Total	0.039	41			

El resultado de la prueba de ANOVA nos indica que existe diferencia estadística entre las medias de los métodos usados en el presente estudio. Por lo tanto rechazamos la hipótesis nula  $H_0$  y consideramos la hipótesis alterna  $H_1$ .

Se realizaron las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y Duncan, obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro 35.

Cuadro 35. Prueba de comparaciones múltiples Tukey y Duncan para los métodos usados en el estudio, al  $D_{0.1}$  con 5 secciones.

F <sub>0.1</sub> de todos los métodos usados en el estudio					
	Método usado	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
Tukey <sup>a</sup>	Bruce	6	0.49663168		
	Subneiloide	6		0.54627788	
	Neiloide	6		0.54704633	
	Newton	6		0.54860439	
	Cono truncado	6		0.54860439	
	Smalian	6		0.55524075	
	Hohenadl	6			0.58955591
	Sig.			1.000	0.981
Duncan <sup>a</sup>	Bruce	6	0.49663168		
	Subneiloide	6		0.54627788	
	Neiloide	6		0.54704633	
	Newton	6		0.54860439	
	Cono truncado	6		0.54860439	
	Smalian	6		0.55524075	
	Hohenadl	6			0.58955591
	Sig.			1.000	0.471

Como resultado de las pruebas de comparaciones múltiples se observan 3 grupos distintos, lo que nos indica que el métodos de Bruce y el método de Hohenadl son estadísticamente diferentes de los otros métodos y al mismo tiempo son diferentes entre ellos. Se podría inferir que el método de Bruce usado a diámetros al  $D_{0.1}$ , subestima el resultado del factor de forma, comparado con los métodos de Newton, cono truncado, neiloide truncado, subneiloide truncado y Smalian. Por otro lado el método de Hohenadl estaría sobrestimando el factor de forma, con respecto a los demás métodos.

### **6.2.5 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al $D_0$ con 5 secciones de fuste.**

H<sub>0</sub>: Las varianzas de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una varianza de métodos de cubicación, diferente a las demás.

En el cuadro 36 se presenta el resultado de la prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos usando como diámetro de referencia el  $D_0$ .

Cuadro 36. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al  $D_0$  con 5 secciones.

**Prueba de homogeneidad de varianzas**  
F<sub>0</sub> de los métodos usados en el estudio

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
1.072	5	30	0.395

Como el valor p es mayor a 0.05 entonces rechazamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y se toma en cuenta la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales. De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

$H_0$ : Las medias de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una media de los métodos de cubicación de madera, estadísticamente diferente a las demás.

En el cuadro 37 se muestra el resultado de la prueba de ANOVA de los métodos seccionales al  $D_0$ .

Cuadro 37. Prueba de ANOVA entre los métodos usados al  $D_0$  (5 secciones).

**ANOVA de un factor**  
F<sub>0</sub> de los métodos usados en el estudio

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.008	5	0.002	2.942	0.028
Intra-grupos	0.015	30	0.001		
Total	0.023	35			

El resultado de la prueba de ANOVA nos indica que existe diferencia estadística entre las medias de los métodos usados en el presente estudio. Por lo tanto rechazamos la hipótesis nula  $H_0$  y se toma en consideración la hipótesis alterna  $H_1$ .

Al realizar la prueba de comparaciones múltiples de Tukey se obtuvo el resultado que se muestra en el cuadro 38.

Cuadro 38. Prueba de comparaciones múltiples Tukey para los métodos usados en el estudio, al  $D_0$  con 5 secciones.

F <sub>0</sub> de los métodos usados en el estudio				
	Método usado	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey <sup>a</sup>	Bruce	6	0.41613799	
	Cono truncado	6	0.44251211	0.44251211
	Subneiloide trun.	6	0.45316766	0.45316766
	Neiloide trun.	6	0.45377667	0.45377667
	Newton	6	0.45501173	0.45501173
	Smalian	6		0.45869986
	Sig.			0.058

Como resultado de la prueba de Tukey tenemos que la media del método de Bruce es estadísticamente igual a las medias de los otros métodos excepto con la media de Smalian. A su vez la media del método de Smalian es estadísticamente igual a las medias de los otros métodos.

De lo que se podría inferir que para obtener un factor de forma confiable para estimar volúmenes a partir del diámetro basal, se recomienda el uso de los métodos de Newton, cono truncado, neiloide o subneiloide.

### **6.2.6 Prueba de homogeneidad de varianzas y ANOVA de un factor, entre métodos al DAP con 5 secciones de fuste**

$H_0$ : Las varianzas de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

$H_1$ : Existe al menos una varianza de métodos de cubicación, diferente a las demás.

En el cuadro 39 se muestra el resultado de la prueba de homogeneidad de varianzas para los métodos seccionales, tomando como diámetro de referencia el DAP.

Cuadro 39. Prueba de homogeneidad de varianzas entre métodos al DAP con 5 secciones.

**Prueba de homogeneidad de varianzas**  
F<sub>DAP</sub> de los métodos usados en el estudio

Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.001	5	30	1.000

Como el valor p es mayor a 0,05 entonces no se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>). Por lo tanto las varianzas son estadísticamente iguales. De ahí que pasamos a la prueba de ANOVA.

H<sub>0</sub>: Las medias de los métodos de cubicación de madera usados en este estudio son estadísticamente iguales.

H<sub>1</sub>: Existe al menos una media de los métodos de cubicación de madera, estadísticamente diferente a las demás.

En el cuadro 40, se presenta el resultado de la ANOVA entre los métodos seccionales usando como diámetro de referencia el DAP.

Cuadro 40. Prueba de ANOVA entre métodos al DAP (5 secciones).

**ANOVA de un factor**  
F<sub>DAP</sub> de los métodos usados en el estudio

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.017	5	.003	3.301	0.017
Intra-grupos	0.031	30	0.001		
Total	0.048	35			

El resultado de la prueba de ANOVA nos indica que existe diferencia estadística entre las medias de los métodos usados en el presente estudio. Por lo tanto rechazamos la hipótesis nula  $H_0$  y aceptamos la hipótesis alterna  $H_1$ .

Al realizar la prueba de comparaciones múltiples de Tukey se obtuvo el resultado que se muestra en el cuadro 41.

Cuadro 41. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los métodos usados en el estudio, al DAP con 5 secciones.

F<sub>DAP</sub> de los métodos usados en el estudio

	Método	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
Tukey <sup>a</sup>	Bruce	6	0.61502473	
	Subneiloide truncado	6	0.66994435	0.66994435
	Neiloide truncado	6	0.67090657	0.67090657
	Newton	6		0.67285949
	Cono truncado	6		0.67285949
	Smalian	6		0.67868978
	Sig.			0.054

Como resultado tenemos que el método de Bruce es estadísticamente igual a los métodos de neiloide truncado y subneiloide truncado, pero es diferente estadísticamente de los otros métodos. Por otro lado tenemos que el método de Smalian es estadísticamente igual a los otros métodos a excepción del método de Bruce.

### 6.3 Análisis de varianza de dos factores

Se realizaron pruebas de análisis de varianza con un  $\alpha = 0.05$ , para los métodos seccionales en fustes de 5 y 10 secciones, por especie, clase diamétrica y diámetros de referencia ( $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y DAP), obteniendo los resultados que se presentan continuación.

### 6.3.1 Análisis de varianza de dos factores para fustes de 5 secciones al $D_0$

Después de obtener los factores de forma con cada método y para cada clase diamétrica de las 6 especies evaluadas, se procedió a tomar cada resultado y observar si existen diferencias del factor de forma entre las clases diamétricas de las 6 especies, obteniendo los resultados que se muestran en la figura 10.

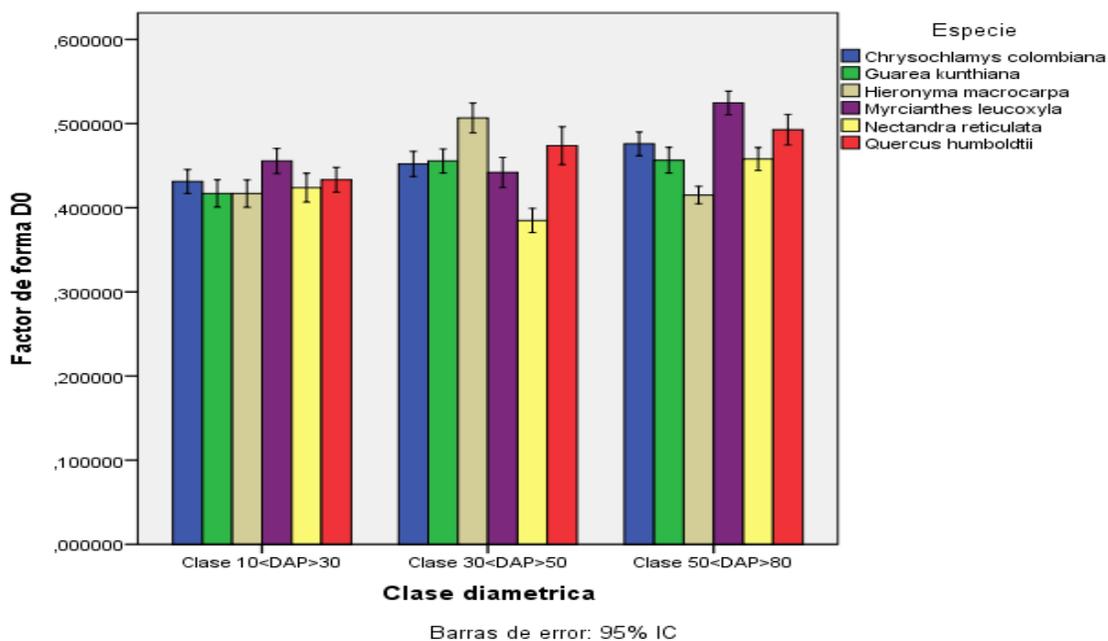


Figura 10. Gráfica para ANOVA de 2 factores entre clases diamétricas y especies con cada método de cubicación.

Al realizar la prueba de homogeneidad de varianzas y obtener como resultado que las varianzas son estadísticamente iguales, se procedió a realizar la prueba de ANOVA, donde el resultado que presentó fue que existe al menos una media estadísticamente diferente a las demás medias. Estos resultados se pueden consultar en el apartado de anexos en la sección C.

En los cuadros 42 al 44 se muestran los resultados de las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y Duncan, para los factores de forma promedio, por clase diamétrica de las seis especies objeto de estudio.

Cuadro 42. Comparaciones múltiples de clases diamétricas para  $D_0$

**Comparaciones múltiples**

Variable dependiente:  $F_0$

	(I)Clase diamétrica	(J)Clase diamétrica	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	p	Intervalo de confianza 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DHS de Tukey	Clase 10<DAP≤30	Clase 30<DAP≤50	-0.02284007*	0.00660138	0.002	-0.03850945	-0.00717069
		Clase 50<DAP≤80	-0.04085151*	0.00660138	0.001	-0.05652089	-0.02518213
	Clase 30<DAP≤50	Clase 10<DAP≤30	0.02284007*	0.00660138	0.002	0.00717069	0.03850945
		Clase 50<DAP≤80	-0.01801144*	0.006601380	0.020	-0.03368082	-0.00234206
	Clase 50<DAP≤80	Clase 10<DAP≤30	0.04085151*	0.006601380	0.001	0.02518213	0.05652089
		Clase 30<DAP≤50	0.01801144*	0.006601380	0.020	0.00234206	0.03368082

Cuadro 43. Pruebas de subconjuntos homogéneos de Tukey y Duncan

**Factor de forma  $F_0$**

	Clase diamétrica	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey	Clase 10<DAP≤30	42	0.42961207		
	Clase 30<DAP≤50	42		0.45245214	
	Clase 50<DAP≤80	42			0.47046358
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan	Clase 10<DAP≤30	42	0.42961207		
	Clase 30<DAP≤50	42		0.45245214	
	Clase 50<DAP≤80	42			0.47046358
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Al igual que para las clases diamétricas, se realizó una prueba de comparaciones múltiples, para las especies, como se muestra en el cuadro 44, con el fin de observar las interacciones de cada una de ellas con respecto a las otras cinco especies objeto de estudio. Al obtener los resultados de las comparaciones múltiples de las especies (como se indica en los anexos sección D) se observa cuáles de ellas son estadísticamente iguales entre sí, según las pruebas de Tukey y Duncan, conformando subconjuntos homogéneos.

Cuadro 44. Comparaciones múltiples entre especies para fustes de 5 secciones al  $D_0$

		Factor de forma $F_0$				
	Especie	N	Subconjunto			
			1	2	3	4
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Nectandra reticulata	21	0.42219837			
	Guarea kunthiana	21	0.44303159	0.44303159		
	Hieronyma macrocarpa	21	0.44618918	0.44618918		
	Chrysochlamys colombiana	21		0.45304471	0.45304471	
	Quercus humboldtii	21		0.46657621	0.46657621	
	Myrcianthes leucoxyla	21			0.47401552	
	Sig.		0.113	0.126	0.225	
	Nectandra reticulata	21	0.42219837			
Duncan <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	21		0.44303159		
	Hieronyma macrocarpa	21		0.44618918		
	Chrysochlamys colombiana	21		0.45304471	0.45304471	
	Quercus humboldtii	21			0.46657621	0.46657621
	Myrcianthes leucoxyla	21				0.47401552
	Sig.		1.000	0.317	0.150	0.427

El mismo procedimiento se llevó a cabo para los fustes de cinco y diez secciones, con cilindros generados al  $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y  $DAP$ . Además se realizó el análisis de varianza de dos factores, tomando como factor de prueba o variable dependiente, el factor de forma ( $F_0$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{DAP}$ ) y como variables independientes el método y la clase diamétrica. Así mismo se aplicó dicho procedimiento, usando como variable dependiente el factor de forma de cada clase diamétrica y como variables independientes el método y la especie. Estos resultados se pueden observar en el apartado de anexos, sección D.

### 6.3.2 Análisis de varianza de dos factores para fustes de 10 secciones al $D_{0.1}$

Se realizó el análisis de dos factores para fustes divididos en 10 secciones, tomando como diámetro de referencia el  $D_{0.1}$ . Se compararon los cuatro métodos seccionales de cono truncado, neiloide truncado, sub-neiloide truncado y Smalian, por clase diamétrica y especie, obteniendo los resultados como se muestran en la figura 11.

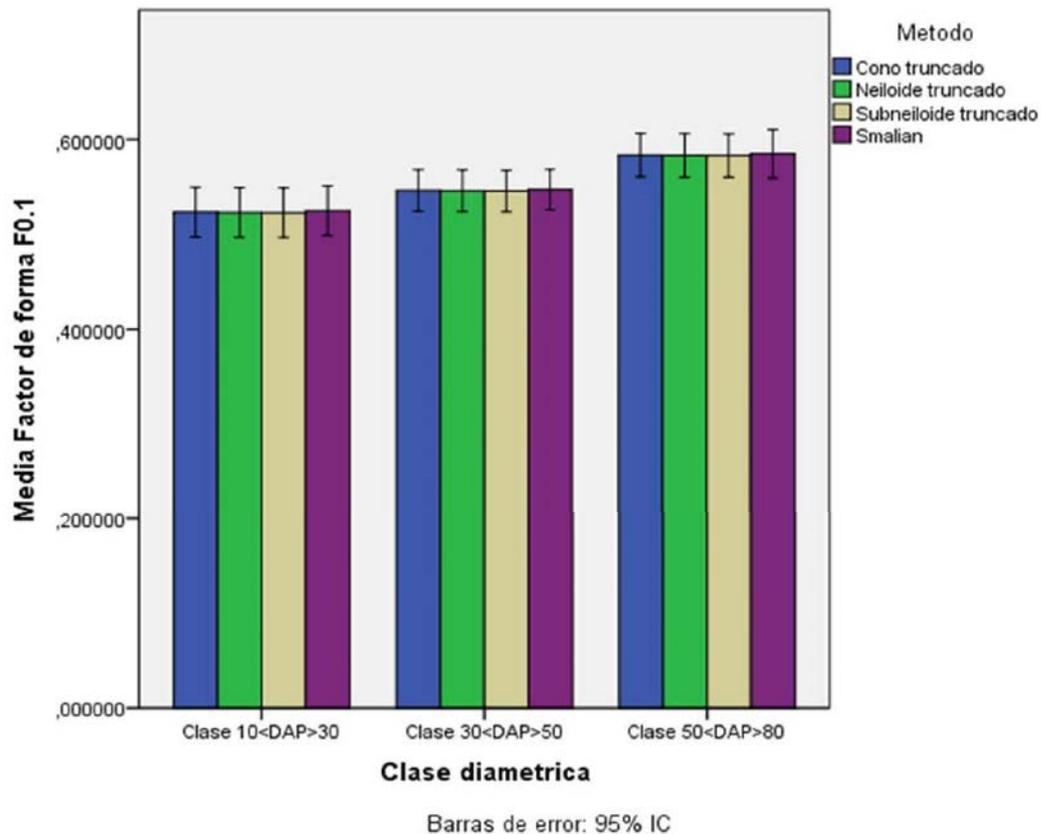


Figura 11 Gráfica para ANOVA de 2 factores, para factor de forma entre clases diamétricas y método de cubicación.

En la figura 11 se puede observar que los resultados entre los cuatro métodos, son muy cercanos entre sí, en fustes de 10 secciones, lo que indica que el valor calculado del factor de forma, es muy aproximado o igual, al valor del factor de forma real.

En los cuadros 45 y 46 se muestran los resultados de las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y Duncan, para los factores de forma promedio, por clase diamétrica de las seis especies objeto de estudio. En ellos se evidencia que los factores de forma de cada clase diamétrica, son estadísticamente diferentes y que no existen diferencias estadísticas entre los factores de forma de las seis especies evaluadas con el método de Tukey, mientras que el método de Duncan si presenta dos subconjuntos de especies, indicando en el primer subconjunto que dos de las seis especies son estadísticamente iguales y que las otras cuatro son estadísticamente iguales entre ellas.

Cuadro 45 Pruebas de subconjuntos homogéneos de Tukey y Duncan, para fustes de 10 secciones.

		F <sub>0.1</sub>			
	Clase diamétrica	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Clase 10≤DAP≤30	24	0.52322580		
	Clase 30<DAP≤50	24		0.54611094	
	Clase 50<DAP≤80	24			0.58363324
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	Clase 10≤DAP≤30	24	0.52322580		
	Clase 30<DAP≤50	24		0.54611094	
	Clase 50<DAP≤80	24			0.58363324
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Cuadro 46 Comparaciones múltiples entre especies para fustes de 10 secciones al D<sub>0.1</sub>

		F <sub>0.1</sub>		
	Especie	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	12	0.52986483	
	Nectandra reticulata	12	0.53026514	
	Myrcianthes leucoxylla	12	0.55733162	
	Chrysochlamys colombiana	12	0.55737978	
	Hieronyma macrocarpa	12	0.56455198	
	Quercus humboldtii	12	0.56654660	
	Sig.			0.052
Duncan <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	12	0.52986483	
	Nectandra reticulata	12	0.53026514	
	Myrcianthes leucoxylla	12		0.55733162
	Chrysochlamys colombiana	12		0.55737978
	Hieronyma macrocarpa	12		0.56455198
	Quercus humboldtii	12		0.56654660
	Sig.			0.975

En cuanto al resultado del análisis de dos factores para los métodos, no existen diferencias estadísticas entre ellos, para todos los diámetros de referencia evaluados (D<sub>0</sub>, D<sub>0.1</sub> y DAP), en fustes de diez secciones.

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Al realizar la estimación de volumen de los fustes de árbol por clase diamétrica para cada especie, usando los 6 métodos seccionales y el método de Hohenadl para cubicación de los mismos, se observó que para fustes de 5 secciones los resultados de los volúmenes con cada método seccional eran distintos entre sí desde el primer y segundo decimal. Esto significa, que en la aplicación en campo la diferencia en volumen por cada fuste sería de aproximadamente: de  $1.3\text{cm}^3$  para la clase diamétrica  $10 \leq \text{DAP} \leq 30\text{cm}$ ; de  $7.3\text{cm}^3$  para la clase diamétrica  $30 < \text{DAP} \leq 50\text{cm}$ ;  $21\text{cm}^3$  para la clase diamétrica  $50 < \text{DAP} \leq 80\text{cm}$ . De esta forma, al cuantificar, por ejemplo, el volumen de diez fustes con al menos dos de estos métodos y seccionando en 5 partes, tendríamos una diferencia en la estimación del volumen de  $13\text{cm}^3$ ,  $73\text{cm}^3$  y  $210\text{cm}^3$  de madera para cada clase diamétrica respectivamente. Estos valores son altos en términos comerciales, lo que puede significar ganancia o pérdida, según el punto de vista o el uso que se le dé a la cuantificación.

Por otro lado, la estimación de volumen con cuatro métodos seccionales para fustes divididos en 10 secciones iguales mostró resultados muy cercanos entre ellos. La diferencia de la estimación se presentó entre el tercer y cuarto decimal, por lo que no hay diferencias notorias en sus valores de volumen. En términos prácticos, la diferencia de fuste es aproximadamente:  $0.3\text{mm}^3$  para la clase diamétrica  $10 < \text{DAP} \leq 30\text{cm}$ ;  $1.8\text{mm}^3$  para la clase diamétrica  $30 < \text{DAP} \leq 50\text{cm}$ ;  $8\text{mm}^3$  para la clase diamétrica  $50 < \text{DAP} \leq 80\text{cm}$ . De modo que, al cuantificar el volumen para diez fustes utilizando al menos dos de los cuatro métodos seccionales evaluados para fustes de 10 secciones, obtendríamos una diferencia de volumen entre estos métodos de  $3\text{mm}^3$ ,  $18\text{mm}^3$  y  $80\text{mm}^3$  para cada una de las clases diamétricas respectivamente. En este sentido, al seccionar el fuste en 10 partes y aplicar cualquiera de los métodos seccionales usados en este estudio, la estimación de volumen va a ser estadísticamente igual, lo que quiere decir que con dividir un fuste en 10 secciones es más que suficiente para obtener un valor de volumen casi exacto al valor del volumen verdadero de ese fuste.

En este trabajo se utilizaron tres diámetros de referencia ( $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y DAP) para obtener 3 tipos de factor de forma para cada fuste. Para los fustes de 5 secciones se aplicaron 7 métodos

seccionales de estimación de volumen, de modo que se obtuvieron 21 factores de forma por cada fuste y para fustes de 10 secciones se aplicaron 4 métodos seccionales, de tal manera que se obtuvo 12 factores de forma por fuste. En otras palabras, uno de los aspectos más importantes obtenidos en este estudio, respecto a lo cual no se halló evidencia documentada, resulta ser la posibilidad de generalizar los métodos seccionales usando diámetros de referencia diferentes al diámetro basal. Este hallazgo resulta representativo dado que la generalización de los métodos seccionales permite encontrar factores de forma con cualquier diámetro de referencia.

Los resultados encontrados para los factores de forma  $F_0$  y  $F_{0.1}$  para fustes de 5 y 10 secciones, concuerdan con los rangos descritos en la teoría clásica (entre 0.40 y 0.55) citado por autores como Prodan, (1997) y Klein, (1997b), donde relacionan los factores de forma con sólidos de revolución como neiloide, paraboloides y cono. Por otro lado, utilizando los mismos métodos seccionales, los resultados del factor de forma artificial ( $F_{DAP}$ ) para fustes de 5 y 10 secciones, se encuentran en un rango de 0.64 a 0.72, indicando que tienen una tendencia más cilíndrica en comparación al  $F_0$  y al  $F_{0.1}$ . Esto a su vez concuerda con factores de forma estandarizados por países latino americanos como Ecuador, Perú, Venezuela y Nicaragua, donde el factor de forma es 0.45 para coníferas y de 0.7 es para latifoliadas según lo señalan el Instituto Nacional Forestal de Nicaragua (INAFOR, 2008; Toledo, 2011; Armijos, 2013).

La estadística descriptiva en este estudio no generó resultados decisivos acerca de la existencia de diferencias entre los métodos seccionales aplicados a 5 y 10 secciones de fuste y los diferentes factores de forma obtenidos ( $F_0$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{DAP}$ ) para cada especie en tres clases diamétricas. Sin embargo, si evidenció una buena precisión en la estimación de los factores de forma ya que el coeficiente de variación (CV%) mostró que los resultados eran homogéneos para cada método seccional aplicado a cada especie y en cada clase diamétrica. También se observó que el CV% tuvo un cambio aproximado de -2% al aplicar un mismo método seccional en fustes de 5 secciones y de 10 secciones, siendo en el primer caso mayor que el segundo, pero manteniéndose ambos dentro del margen de homogeneidad.

Lo anterior permitió abrir la interrogante acerca de si existían diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del factor de forma obtenido de los métodos seccionales

evaluados en los tres diferentes diámetros de referencia, entre las seis especies y entre las tres clases diamétricas, en fustes divididos en 5 y 10 secciones. Para responder a este interrogante, fue necesario realizar pruebas de análisis de varianza de un factor, siendo el factor de forma la variable dependiente en todos los casos y donde inicialmente se obtuvo que el factor de forma de Hohenadl,  $F_0$  y  $F_{DAP}$  para las seis especies del estudio y las tres clases diamétricas eran estadísticamente iguales. Estas apreciaciones han coincidido con los aportes ya brindados por Fadaei (2008) quien determinó que no existían diferencias significativas entre los factores de forma absoluto y el factor de forma artificial para la especie *Pinus taeda*.

Ahora bien, en el presente estudio se encontró que aunque el factor de forma de Hohenadl,  $F_0$  y  $F_{DAP}$  son estadísticamente iguales, existen por otro lado diferencias estadísticamente significativas en el  $F_{0.1}$  entre al menos 2 especies y diferencias entre las clases diamétricas  $10 < DAP \leq 30 \text{cm}$  y  $50 < DAP \leq 80 \text{cm}$ . Estos resultados, en donde la ANOVA de un factor no muestra un panorama claro sobre el comportamiento de las variables evaluadas condujeron a la realización de un análisis multifactorial.

El análisis de varianza multifactorial mostró que sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de factores de forma ( $F_0$ ,  $F_{0.1}$  y  $F_{DAP}$ ) en las tres clases diamétricas consideradas en este estudio, en fustes de 5 y 10 secciones. Estos resultados concuerdan con los aportes de Ojeda (1983) quien determinó por medio de estadística descriptiva, que existían diferencias significativas entre los factores de forma de las clases diamétricas menores a 30cm y las clases diamétricas superiores, esto significa que la forma del fuste presenta cambios significativos con la edad del árbol, corroborando así lo dicho por Vanclay (1994), Prodan (1997), Laar (2007) y Romahn y Ramírez (2010). Además, se evidenció que existen diferencias estadísticamente significativas entre los factores de forma de al menos tres de las seis especies evaluadas.

Otro aspecto muy importante que se observó con este análisis estadístico, es que el único método seccional que presentó diferencias estadísticamente significativas entre los métodos evaluados, fue el método de Bruce. Lo cual implica que, para obtener un factor de forma cercano al real y teniendo como referencia el método de Newton como el más preciso, se puede hacer uso de

cualquiera de los métodos seccionales trabajados en este estudio, a excepción del método de Bruce, lo cual tiene sentido, ya que este método fue propuesto en particular, para estimar el volumen de la primera troza en la parte baja del fuste.

Respecto al volumen del primer segmento o también llamado de la primera troza, los resultados de la comparación entre el método de Bruce, neiloide truncado y subneiloide truncado (AED), no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Por lo tanto, para la estimación precisa de volumen del primer segmento, es válido usar cualquiera de los tres métodos. No obstante, el resultado de esta comparación contrasta con lo expresado por el mismo Bruce (1982), quien considera que su método es el más preciso para el cálculo de volumen de la primera troza, en comparación a otros métodos seccionales de la teoría clásica. Una de las razones que pudo haber influenciado que los tres métodos hayan sido estadísticamente iguales, es el tipo de especie a la que se aplicaron, dado que Bruce utilizó su método en un 85% aproximadamente en especies coníferas, las cuales presentan un ahusamiento menor en su base. Ahora bien, en el presente estudio se evaluaron especies latifoliadas, las cuales presentan ahusamientos mayores en sus bases, debido a que en algunos casos las raíces son más expuestas o a la presencia de algunas gambas o aletones no muy pronunciados en la base, tendiendo a presentar formas de tendencia neiloidica (Vanclay, 1995).

Los resultados obtenidos de volumen y factor de forma para cada una de las seis especies evaluadas en sus 3 clases diamétricas mediante la aplicación de métodos seccionales clásicos, permitieron que con los análisis inferenciales realizados, se corroboran las predicciones teóricas sobre el uso los métodos seccionales, que se han venido trabajando desde el año 2006 hasta la fecha, en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera (FITECMA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, siendo los métodos más precisos para el cálculo de volumen y forma; Newton, cono truncado, neiloide truncado y subneiloide truncado (AED).

## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Este estudio realiza aportes a la dendrometría, relacionados a la estimación de volumen mediante métodos seccionales. Se encuentra, que al seccionar un fuste de las 6 especies objeto de estudio en 10 partes iguales, es posible obtener un valor de volumen muy aproximado al real sin importar cuál de los métodos seccionales evaluados en este estudio, se aplique. En la literatura no se menciona un número de segmentos para el cual todos los métodos seccionales no presenten diferencias en la estimación de volumen.

En este estudio se demuestra que usar el diámetro al 10% de la altura del fuste ( $D_{0.1}$ ), se obtienen valores de factor de forma natural ( $F_{0.1}$ ) y volumen con precisión, respecto a los valores reales y sus resultados son estadísticamente más confiables, ya que corroboran las predicciones teóricas clásicas de volumen y forma, mediante el uso de métodos seccionales.

Los métodos seccionales que presentaron resultados más precisos y más estables en las diferentes pruebas estadísticas realizadas, para la estimación de volumen y forma, tomando como referencia el método de Newton y utilizando los diámetros de referencia  $D_0$ ,  $D_{0.1}$  y DAP, fueron los métodos de; cono truncado, neiloide truncado y subneiloide truncado (AED), para fustes divididos en 5 y 10 secciones.

La utilización de análisis de varianza de un factor y multifactorial, fue una herramienta idónea, para analizar resultados obtenidos en este estudio, donde inicialmente la estadística descriptiva no definía claramente diferencias entre factores de forma, volúmenes y métodos seccionales aplicados a las seis especies evaluadas. Con la aplicación de ANOVA de un factor, se evidenciaron y se corroboraron algunos resultados de este estudio con otros resultados obtenidos por otros autores en las últimas tres décadas. Sin embargo, aún había vacíos e inquietudes frente a algunos de los análisis, por lo que fue necesario recurrir al análisis de varianza multifactorial, con lo cual se logró obtener un panorama mucho más claro y concluyente, respecto a los resultados de volumen y forma, que inicialmente solo se intuían.

En cuanto a la estimación de volumen del primer segmento o primera troza, comparando el método de Bruce con los métodos de neiloide truncado y subneiloide truncado (AED), no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas entre estos tres métodos. Además los tres métodos arrojaron valores de volumen muy cercanos al método de Newton, el cual se toma como referencia de volumen verdadero en la teoría clásica (Vancaly, 1995; Prodan, 1997). Sin embargo, el método de Bruce no es el adecuado para calcular factores de forma, según lo evidenciado por los resultados obtenidos en este trabajo. El estudio de métodos seccionales particulares para estimar el volumen de la primera troza en la parte baja del fuste, representa por sí mismo una aportación a la que se le da su propio espacio de investigación dentro del campo de las mediciones forestales, sobre todo en la parte comercial e industria.

El factor de Hohenadl es denominado factor de forma verdadero (Prodan, 1997; Romahn y Ramírez, 2010), pero los resultados de este estudio presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al método seccional de Newton. Los factores de forma de los métodos seccionales más próximos a Newton fueron como truncado, neiloide truncado y subneiloide truncado (AED).

## CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES

Para trabajar cubicaciones con precisión se recomienda tener en cuenta el uso que va a tener el estudio y el tiempo requerido para los muestreos; para diagnósticos (POF, muestreos exploratorios, premuestreos, caracterización de especies) se sugiere usar los métodos de Smalian o Huber, al DAP en una sola sección o hasta 5 secciones.

En planes de manejo forestal de protección o conservación, estudios de fenología y estudios restauración forestal, se recomienda los métodos de cono truncado al DAP o de Hohenadl al 10% de altura comercial con 5 secciones.

Para estudios de investigación y planes de manejo forestal de aprovechamiento de madera, se sugiere usar los métodos seccionales, con 10 secciones y diámetro de referencia al 10% de la altura del fuste o Newton con 5 secciones al mismo diámetro de referencia.

Al realizar muestreos no destructivos para la aplicación de métodos seccionales como el del presente estudio, se recomienda la utilización de equipo adecuado, tal como cinta diamétrica, cinta métrica, brújula, marcadores o pintura, tubos de pvc con un mínimo de 2m de largo, clinómetro y un relascopeo digital calibrado.

Para estimar factores de forma con alta precisión, se recomienda usar el diámetro de referencia natural o también denominado verdadero, al 10% de la altura del fuste.

En caso de requerir comparaciones estadísticas para toma de decisiones, lo más recomendable es utilizar la estadística inferencial, la cual permite tomar decisiones claras sobre los datos o resultados que se están analizando, gracias a que se pueden observar las interacciones que ocurren entre las diferentes variables se evalúen.

## BIBLIOGRAFIA

Akossou, A.Y.J., Arzouma, S., Attakpa, E.Y., Fonton, N.H., Kokou, K., (2013). Scaling of teak (*tectona grandis*) logs by the xylometer technique: accuracy of volume equations and influence of the log length. *Diversity*, 5:99-113

Armijos, D., (2013). Construcción de tablas volumétricas y cálculo de factor de forma (ff.) Para dos especies, teca (*tectona grandis*) y melina (*gmelina arborea*) en tres plantaciones de la empresa Reybanpac CA, en la Provincia de los Ríos. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Avery, T.E., Burkhart, H.E., (2002). *Forest Measurements*. Mc Graw Hill, New York.

Bautista, S.L., (1998). *Diseños de Muestreo Estadístico*, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Matemáticas y Estadística.

Bruce, D., (1982). Butt Log Volume Estimators. *Forest Science.*, **28**(3):489-503.

Cancino, J., (2006). *Dasometría Básica*. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente.

Cruz de León, G., Cruz de León, J., (2006). The segmental conic model for forest measurements. *Madera y Bosques*, **12**(2): 91-96

Cruz de León, G., Uranga-Valencia, L.P., (2013). Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries. *Bosque*, **34**(3): 311-317

Cruz de León, G., Alfaro-Trujillo I., Bañuelos-Jiménez, M., (2016). Error predictions for average end diameter sectional formula in tree stem volume measurements. *Bosque*, **37**(1): 211-215

Cruz de León, G., Uranga-Valencia, L.P., Bañuelos-Jiménez, M., (2017). Error predictions for segmental conic model in tree stem form and volume estimation (enviado).

Dávila, D.E., Alvis, J.F., Ospina, R., (2012). Distribución espacial, estructura y volumen de los bosques de Roble negro (*Colombobalanus excelsa* (Lozano, Hern. Cam. & Henao, J.E.) Nixon & Crepet) en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. *Colombia Forestal*, **15**(2): 207-214.

Dean, T.J., Long, J.N., (1986). Validity of Constant-stress and Elastic-instability Principles of Stem Formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Annals of Botany*, **58**:833-840.

Diaz-Gustavo, G., Martínez-Salvador, M., Gacía-Hernández, J., Norzagaray-Campos, M., Luna-González, A., González-Ocampo, H., (2015). Carbon Sequestration of *Caesalpinia platyloba* S. Watt (Leguminosae) (Lott 1985) in the Tropical Deciduous Forest. **10**(5): e0125478 DOI:10.1371/journal.pone.0125478

Fadaei, F., Fallah, A., Latifi, H., Mohammadi, K., (2008). Determining the best form factor formula for Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) plantations at the age of 18, in Guilan-northern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, **6**(1): 19-24.

Fernandes, B.V., Vinha-Zanuncio, A., Furtado, E., Andrade, H.B., (2014). Damage and Loss Due to *Ceratocystis fimbriata* in Eucalyptus Wood for Charcoal Production. *BioResources*, **9**(3):5473-5479.

García, G., Paleo, C., Hernández, J., García, J., Muñoz, H., García, X., (2013). Estimación de coeficientes y cocientes de forma para *Pinus montezumae* Lamb en San Juan Nuevo, Michoacán. Memorias del 2o. Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical y XXV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Villahermosa, Tabasco, México.

Laar, V.A., Akça, A., (2007). *Forest Mensuration*. Springer, Dordrecht, Deutschland.

Mahecha, G., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A., Barrero, D., (2004). Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá, Colombia.

Muller, C.H., (1960). Flora of Panama, Part IV. Fascicle 2. Fagaceae. Ann. Missouri Bot. Gard. 47(2): 95–104.

Ojeda, W., (1983). Factor de forma preliminar para seis familias de especies forestales tropicales. Revista Forestal del Perú, **11**(1-2):1-6.

Pacheco-Salamanca, R.A., Pinzón-Osorio, C.A., (1997). El Roble. Notas Divulgativas 1. Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá, Colombia.

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P., (1997). Mensura Forestal 1, Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Rodríguez, J.O., Peña, J.R., Plata, E., (1984). Flora de los Andes. Cien especies del Altiplano Cundi-Boyacense. Bogotá, Colombia. Villegas editores.

Romahn, C.F., Ramírez, H., (2010). Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales.

Rovis, J.A., Sarria, A.P., (2013). Caracterización florística y estructural de bosque natural de la reserva natural Arrayanales en la vereda Quintana, municipio de Popayán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Cauca, Colombia.

Socha, J., Kulej. M., (2007). Variation of the tree form factor and taper in European larch of Polish provenances tested under conditions of the Beskid Sądecki mountain range (southern Poland). Journal of Forest Science, 53: 538–547.

Tlaxcala, R., De los Santos, H., Hernandez, P., López, J., (2016). Variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de Cedro rojo (*Cedrela odorata l.*). *Agrociencia*, 50: 89-105.

Toledo, P., (2011). Determinación del factor de forma de gmelina (*gmelina arbórea* Roxb), en la hacienda forestal libertad AGR, de la empresa Agrícola Ganadera Reysahiwal AGR SA. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Vanclay, J.K., (1994). *Modelling Forest Growth and Yield; Applications to Mixed Tropical forests.* Agricultural University Copenhagen. CAB International, Wallingford U.K.

Vanclay, J.K., (1995). Growth models for tropical forest; A synthesis of models and methods. *Forest Science*, 41:7-42.

Vargas, W., (2002). Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales. Universidad de caldas. Manizales.

West, P.W., (2009). *Tree and Forest Measurement*, 2nd edn. Springer-Verlag, Berlin

Williams, L.O., (1981). *The Useful Plants of Central America*. CEIBA 24.

# ANEXO A

## VOLÚMENES PARA 5 Y 10 SECCIONES

### A.1. Volumen para fustes de 5 secciones

En los cuadros A1 al A3 se muestran los resultados de volumen por clase diamétrica, obtenidos para cada especie, en fustes divididos en 5 secciones, con cada uno de los métodos utilizados en este estudio.

Cuadro A1. Volumen de Hohenadl para fustes de 5 secciones.

ESPECIE	Promedio de volumen de Hohenadl		
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.191273188	0.900524819	2.955078581
<i>Guarea kunthiana</i>	0.227900133	0.973515679	2.719116961
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.199060305	1.051331137	4.257406501
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.284060547	1.136426397	2.846165598
<i>Nectandra reticulata</i>	0.227494998	1.65881933	2.90110938
<i>Quercus humboldtii</i>	0.26246762	0.864059588	2.868716688

Cuadro A2. Volumen de Newton para fustes de 5 secciones.

ESPECIE	Promedio de volumen de Newton		
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.201048935	0.87229038	2.976346434
<i>Guarea kunthiana</i>	0.229773537	0.942751508	2.446909831
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.218824239	0.932826024	3.534445465
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.25674624	0.986900476	2.593877713
<i>Nectandra reticulata</i>	0.237393303	1.247412165	2.589139239
<i>Quercus humboldtii</i>	0.276419947	0.907886215	2.380714311

## A.2 Volúmenes para fustes de 10 secciones

En los cuadros A3 y A4 se encuentran los resultados de volumen por clase diamétrica, obtenidos para cada especie, en fustes divididos en 10 secciones con cuatro métodos seccionales de cubicación utilizados (Smalian, cono truncado, neiloide truncado y sub-neiloide truncado).

Cuadro A3. Volumen de Smalian para fustes de 10 secciones.

Especie	Promedio de Volumen de Smalian		
	10 <DAP>30	30<DAP>50	50<DAP>80
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.200309401	0.856758815	2.999758116
<i>Guarea kunthiana</i>	0.226459888	0.930688903	2.434025112
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.211215664	0.907396911	3.544503877
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.250966269	0.952766281	2.582178265
<i>Nectandra reticulata</i>	0.226654161	1.23004089	2.608039918
<i>Quercus humboldtii</i>	0.276652405	0.874460222	2.442955987

Cuadro A4. Volumen de cono truncado para fustes de 10 secciones.

Especie	Promedio de Volumen de Cono truncado		
	10 <DAP>30	30<DAP>50	50<DAP>80
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.199950314	0.854973365	2.991583541
<i>Guarea kunthiana</i>	0.2258682	0.928942301	2.427703312
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.21058518	0.905750287	3.537350025
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.250384547	0.950010324	2.578455081
<i>Nectandra reticulata</i>	0.226073606	1.226081207	2.602868897
<i>Quercus humboldtii</i>	0.27600973	0.872343217	2.439437141

## ANEXO B

### FACTOR DE FORMA Y ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

#### B.1. Factor de forma para fustes de 5 secciones

En los cuadros B1 se muestran los resultados del factor de forma absoluto por clase diamétrica, para cada especie con cada método evaluado para fustes de 5 secciones.

Cuadro B1. Factor de forma promedio de sub-neiloide truncado por clase diamétrica y especie.

Especie	Promedio de Factor mórfico Sub-neiloide truncado D0			
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80	F <sub>0</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.43381224	0.454324811	0.47711447	<b>0.45508384</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.41747219	0.458123508	0.45788639	<b>0.444494029</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.41887405	0.514353612	0.41588684	<b>0.449704834</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.45774743	0.442213198	0.52690517	<b>0.475621933</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.42475445	0.387132968	0.46095944	<b>0.424282285</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.43583614	0.468455144	0.50516592	<b>0.469819068</b>

En los cuadros B2 se muestran los resultados del factor de forma artificial o al DAP por clase diamétrica, para cada especie con cada método evaluado para fustes de 5 secciones.

Cuadro B2. Factor de forma promedio de cono truncado por clase diamétrica y especie.

Especie	Promedio de Factor mórfico Cono truncado DAP			
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80	F <sub>DAP</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.67679477	0.61555282	0.68622954	<b>0.659525708</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.61419903	0.664539	0.69044241	<b>0.65639348</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.77075934	0.7139789	0.70320605	<b>0.729314761</b>
<i>Myrcianthes leucoxylla</i>	0.66859779	0.62381603	0.68025181	<b>0.657555209</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.61310444	0.63467205	0.67974027	<b>0.642505587</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.66242063	0.6954575	0.71770846	<b>0.691862193</b>

## B.2. Estadísticos descriptivos para fustes de 5 secciones

En los cuadros B3 se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos para fustes de 5 secciones, tomando como referencia el  $D_0$ .

Cuadro B3. Estadísticos descriptivos para el factor de forma de Newton al  $D_0$  en fustes de 5 secciones.

Especie	NEWTON			
	VAR	DESV	COEF VAR.	F <sub>0</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.009918107	0.09958969	21.4%	<b>0.465712058</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.007612497	0.08724962	19.0%	<b>0.458375956</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.012278749	0.11080952	24.1%	<b>0.45906203</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.015797992	0.12569006	25.5%	<b>0.492157994</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.00721489	0.08494051	19.5%	<b>0.436464793</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.014798465	0.12164894	25.6%	<b>0.475180015</b>

En los cuadros B4 se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos para fustes de 5 secciones, tomando como referencia el DAP.

Cuadro B4. Estadísticos descriptivos para el factor de forma de Smalian al DAP en fustes de 5 secciones.

Especie	SMALIAN			
	VAR	DESV	COEF VAR.	F <sub>DAP</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.01801899	0.11827244	17.8%	<b>0.66544586</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.01134867	0.10653012	16.1%	<b>0.6623147</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.02852312	0.16888789	23.0%	<b>0.73565575</b>
<i>Myrcianthes leucoxylo</i>	0.01514167	0.12305148	18.6%	<b>0.66272914</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.01244347	0.1115503	17.2%	<b>0.64899142</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.01461048	0.12087382	17.3%	<b>0.69700179</b>

## B.3. Factor de forma para fustes de 5 secciones

En los cuadros B5 se muestran los resultados del factor de forma natural o relativa al  $D_{0.1}$  por clase diamétrica, para cada especie con cada método evaluado para fustes de 10 secciones.

Cuadro B5. Factor de forma natural para la especie *Chrysochlamys colombiana* por clase diamétrica y método, en fustes de 10 secciones.

Método	factor de forma para <i>Chrysochlamys colombiana</i>			
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80	F <sub>0.1</sub> Promedio
<b>Smalian</b>	0.541469101	0.546255992	0.581709903	<b>0.556478332</b>
<b>Cono truncado</b>	0.540254687	0.545099969	0.588607512	<b>0.557987389</b>
<b>Neiloide</b>	0.539849441	0.544714169	0.58829221	<b>0.557618606</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.53964748	0.544521958	0.588134972	<b>0.557434803</b>

En los cuadros B6 se muestran los resultados del factor de forma basal o al D<sub>0</sub> por clase diamétrica, para cada especie con cada método evaluado para fustes de 10 secciones.

Cuadro B36. Factor de forma basal para la especie *Guarea kunthiana* por clase diamétrica y método, en fustes de 10 secciones.

Método	factor de forma para <i>Guarea kunthiana</i>			
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80	F <sub>0</sub> Promedio
<b>Smalian</b>	0.42510515	0.46163141	0.462738008	<b>0.449824854</b>
<b>Cono truncado</b>	0.42399487	0.46076188	0.461791174	<b>0.44884931</b>
<b>Neiloide</b>	0.42362429	0.46047173	0.461475245	<b>0.448523755</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.42343974	0.46032712	0.461317757	<b>0.448361538</b>

En los cuadros B7 se muestran los resultados del factor de forma artificial o al DAP por clase diamétrica, para cada especie con cada método evaluado para fustes de 10 secciones.

Cuadro B7. Factor de forma artificial para la especie *Chrysochlamys colombiana* por clase diamétrica y método, en fustes de 10 secciones.

Método	factor de forma para <i>Chrysochlamys colombiana</i>			
	10<DAP≤30	30<DAP≤50	50<DAP≤80	F <sub>DAP</sub> Promedio
<b>Smalian</b>	0.67934905	0.61736254	0.71971788	<b>0.672143154</b>
<b>Cono truncado</b>	0.67777228	0.61606421	0.71794181	<b>0.670592765</b>
<b>Neiloide</b>	0.6772461	0.61563091	0.71734833	<b>0.670075115</b>
<b>Sub-neiloide</b>	0.6769839	0.61541504	0.71705377	<b>0.66981757</b>

## B.4. Estadísticos descriptivos para fustes de 10 secciones

En los cuadros B8 se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos para fustes de 10 secciones, tomando como referencia el D<sub>0</sub>.

Cuadro B8. Estadísticos descriptivos para el factor de forma de neiloide truncado al D<sub>0</sub> en fustes de 10 secciones.

Especie	NEILOIDE TRUNCADO			
	VAR	DESV	COEF VAR.	F <sub>0</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.00987352	0.099365563	22.0%	<b>0.451010278</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.0079032	0.088899939	19.8%	<b>0.448523755</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.01222139	0.110550408	24.6%	<b>0.448533948</b>
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.00970785	0.098528422	20.9%	<b>0.472048364</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.00701909	0.083780025	19.6%	<b>0.426712687</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.00886396	0.094148616	19.9%	<b>0.472567913</b>

En los cuadros B9 se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos para fustes de 10 secciones, tomando como referencia el DAP.

Cuadro B9. Estadísticos descriptivos para el factor de forma de Smalian al DAP en fustes de 10 secciones.

Especie	SMALIAN			
	VAR	DESV	COEF VAR.	F <sub>DAP</sub> Promedio
<i>Chrysochlamys colombiana</i>	0.01509998	0.12288198	18.32%	<b>0.672143154</b>
<i>Guarea kunthiana</i>	0.01134559	0.10651567	16.15%	<b>0.661250906</b>
<i>Hieronyma macrocarpa</i>	0.02491064	0.15783103	22.21%	<b>0.712100782</b>
<i>Myrcianthes leucoxyla</i>	0.01592274	0.12618533	19.38%	<b>0.652319285</b>
<i>Nectandra reticulata</i>	0.01235489	0.11115255	17.28%	<b>0.644850481</b>
<i>Quercus humboldtii</i>	0.0146176	0.12090325	17.48%	<b>0.69318022</b>

## ANEXO C

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR

#### C.1. Pruebas factor de forma vs especies, para fustes de 5 secciones

En los cuadros C1 al C5, se presentan los resultados de ANOVA de un factor, entre factor de forma y especies, al D<sub>0.1</sub>, D<sub>0</sub> y DAP.

Cuadro C1. ANOVA de un factor Huber al D<sub>0.1</sub> de altura del fuste (Hohenadl) para 5 secciones.

##### ANOVA de un factor

Huber D<sub>0.1</sub> (Hohenadl)

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.064	5	0.013	1.067	0.381
Intra-grupos	1.701	142	0.012		
Total	1.765	147			

Cuadro C2. ANOVA de un factor Bruce al D<sub>0.1</sub> para 5 secciones.

##### ANOVA de un factor

Bruce D<sub>0.1</sub>

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.118	5	0.024	3.182	0.009
Intra-grupos	1.052	142	0.007		
Total	1.170	147			

Cuadro C3. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan, para Bruce al  $D_{0.1}$

Bruce 10%				
	Especie	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	20	0.45885342	
	Chrysochlamys colombiana	24	0.47922145	0.47922145
	Nectandra reticulata	21	0.49998692	0.49998692
	Hieronyma macrocarpa	21	0.50093348	0.50093348
	Myrcianthes leucoxylla	24	0.51221916	0.51221916
	Quercus humboldtii	38		0.54380605
	Sig.		0.279	0.110
Scheffé <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	20	0.45885342	
	Chrysochlamys colombiana	24	0.47922145	0.47922145
	Nectandra reticulata	21	0.49998692	0.49998692
	Hieronyma macrocarpa	21	0.50093348	0.50093348
	Myrcianthes leucoxylla	24	0.51221916	0.51221916
	Quercus humboldtii	38		0.54380605
	Sig.		0.480	0.257

Cuadro C4. ANOVA de un factor Newton al  $D_0$  para 5 secciones.

ANOVA de un factor					
Newton D0					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p.
Inter-grupos	0.090	5	0.018	2.030	0.078
Intra-grupos	1.257	142	0.009		
Total	1.347	147			

Cuadro C5. ANOVA de un factor Newton al DAP para 5 secciones.

**ANOVA de un factor**

Cono truncado DAP

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.108	5	0.022	1.306	0.265
Intra-grupos	2.354	142	0.017		
Total	2.462	147			

**C.2. Pruebas entre métodos para 5 secciones**

En los cuadros C6 al C9, se presentan los resultados de las pruebas de ANOVA de un factor, entre métodos, para 5 secciones de fuste.

Cuadro C6. Anova de un factor entre métodos, para  $F_{0.1}$  en fustes de 5 secciones.

**ANOVA de un factor**

$F_{0.1}$

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p.
Inter-grupos	0.027	6	0.004	12.411	0.001
Intra-grupos	0.012	35	0.000		
Total	0.039	41			

Cuadro 7. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan, para  $F_{0.1}$

		$F_{0.1}$			
	Metodo usado	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey <sup>a</sup>	Bruce	6	0.49663168		
	Subneiloide	6		0.54627788	
	Neiloide	6		0.54704633	
	Newton	6		0.54860439	
	Cono truncado	6		0.54860439	
	Smalian	6		0.55524075	
	Hohenadl	6			0.58955591
	Sig.		1.000	0.981	1.000
Duncan <sup>a</sup>	Bruce	6	0.49663168		
	Subneiloide	6		0.54627788	
	Neiloide	6		0.54704633	
	Newton	6		0.54860439	
	Cono truncado	6		0.54860439	
	Smalian	6		0.55524075	
	Hohenadl	6			0.58955591
	Sig.		1.000	0.471	1.000

Cuadro C8. Anova de un factor entre métodos, para  $F_{0.1}$  en fustes de 5 secciones.

**ANOVA de un factor**

$F_{DAP}$					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.017	5	0.003	3.301	0.017
Intra-grupos	0.031	30	0.001		
Total	0.048	35			

Cuadro 9. Comparaciones múltiples de Tukey y Duncan, para  $F_{0,1}$

FF al DAP				
	Metodo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey <sup>a</sup>	Bruce	6	0.61502473	
	Subneiloide truncado	6	0.66994435	0.66994435
	Neiloide truncado	6	0.67090657	0.67090657
	Newton	6		0.67285949
	Cono truncado	6		0.67285949
	Smalian	6		0.67868978
	Sig.			0.054

### C3. Pruebas de factor de forma vs clase diamétrica

En los cuadros C10 al C13, se muestran los resultados de ANOVA de un factor, para FF y clase diamétrica

Cuadro C10. Anova de un factor factor de forma y clase diamétrica, para  $F_{DAP}$  en fustes de 5 secciones.

#### ANOVA de un factor

Cono truncado DAP

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.029	2	0.015	0.877	0.418
Intra-grupos	2.433	145	0.017		
Total	2.462	147			

Cuadro C11. Anova de un factor factor de forma y clase diamétrica, para  $F_0$  en fustes de 5 secciones.

#### ANOVA de un factor

Bruce  $F_0$

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.052	2	0.026	2.766	0.066
Intra-grupos	1.366	145	0.009		
Total	1.418	147			

Cuadro C12. Anova de un factor factor de forma y clase diamétrica, para  $F_{0,1}$  en fustes de 5 secciones.

**ANOVA de un factor**

Hohenadl

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.326	2	0.163	16.428	0.001
Intra-grupos	1.439	145	0.010		
Total	1.765	147			

El mismo procedimiento de ANOVA de un factor que se ha trabajado hasta este punto, se realizó para fustes de 10 secciones. Los resultados de todas las pruebas se adjuntan en formato digital en caso de que el lector desee consultarlo.

#### **C.4. Comparaciones del volumen de Bruce, neiloide truncado y sub-neiloide truncado**

Cuadro C13. Comparación entre métodos para la estimación de volumen de la primera troza.

**ANOVA de un factor**

Volumen de Bruce

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	p
Inter-grupos	0.005	5	0.001	0.659	0.656
Intra-grupos	0.068	42	0.002		
Total	0.073	47			

## ANEXO D

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE DOS FACTORES

#### D.1. ANOVA de 2 factores, donde el factor de forma es la variable dependiente y los factores son la Clase diamétrica y especies. Para 5 secciones

Cuadro D1. Análisis multifactorial para  $F_{0.1}$

##### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente:  $F_{0.1}$

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	p
Modelo corregido	0.149 <sup>a</sup>	7	0.021	16.285	0.001
Intersección	38.359	1	38.359	29266.021	0.001
ClasDiam	0.114	2	0.057	43.365	0.001
Especie	0.036	5	0.007	5.453	0.001
Error	0.155	118	0.001		
Total	38.663	126			
Total corregida	0.304	125			

Cuadro D2. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan para clases diamétricas en  $F_{0.1}$

		$F_{0.1}$			
	Clase diametrica	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Clase 10<DAP>30	42	0.51628986		
	Clase 30<DAP>50	42		0.54924863	
	Clase 50<DAP>80	42			0.58973615
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	Clase 10<DAP>30	42	0.51628986		
	Clase 30<DAP>50	42		0.54924863	
	Clase 50<DAP>80	42			0.58973615
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Cuadro D3. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan para especies en  $F_{0.1}$ .

Factor de forma 10%					
	Especie	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	21	0.52753751		
	Nectandra reticulata	21	0.53437386	0.53437386	
	Chrysochlamys colombiana	21	0.54711115	0.54711115	0.54711115
	Myrcianthes leucoxylla	21		0.56039751	0.56039751
	Hieronyma macrocarpa	21			0.56842636
	Quercus humboldtii	21			0.57270290
	Sig.		0.501	.191	0.206
	Duncan <sup>a,b</sup>	Guarea kunthiana	21	0.52753751	
Nectandra reticulata		21	0.53437386		
Chrysochlamys colombiana		21	0.54711115	0.54711115	
Myrcianthes leucoxylla		21		0.56039751	0.56039751
Hieronyma macrocarpa		21		0.56842636	0.56842636
Quercus humboldtii		21			0.57270290
Sig.			0.100	0.073	0.304

## D.2. ANOVA de 2 factores, donde el factor de forma es la variable dependiente y los factores son los métodos y las clases diamétrica. Para 5 secciones

Cuadro D4. Análisis multifactorial para  $F_{0.1}$ .

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Factor de forma 10%					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	p
Modelo corregido	0.182 <sup>a</sup>	8	0.023	21.887	0.001
Intersección	38.359	1	38.359	36847.619	0.001
Metodo	0.069	6	0.011	10.982	0.001
ClasDiam	0.114	2	0.057	54.600	0.001
Error	0.122	117	0.001		
Total	38.663	126			
Total corregida	0.304	125			

Cuadro D5. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan para métodos en  $F_{0.1}$ .

Factor de forma 10%					
	Metodo	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Bruce	18	0.50410620		
	Subneiloide truncado	18		0.54958157	
	Neiloide truncado	18		0.55034799	
	Cono truncado	18		0.55190292	
	Smalian	18		0.55654563	
	Newton	18		0.56010580	0.56010580
	Hohenadl	18			0.58971739
	Sig.			1.000	0.958
Duncan <sup>a,b</sup>	Bruce	18	0.50410620		
	Subneiloide truncado	18		0.54958157	
	Neiloide truncado	18		0.55034799	
	Cono truncado	18		0.55190292	
	Smalian	18		0.55654563	
	Newton	18		0.56010580	
	Hohenadl	18			0.58971739
	Sig.			1.000	0.393

Cuadro D6. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan para clases diamétricas en  $F_{0.1}$

Factor de forma 10%					
	Clase diametrica	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Clase 10<DAP>30	42	0.51628986		
	Clase 30<DAP>50	42		0.54924863	
	Clase 50<DAP>80	42			0.58973615
	Sig.			1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	Clase 10<DAP>30	42	0.51628986		
	Clase 30<DAP>50	42		0.54924863	
	Clase 50<DAP>80	42			0.58973615
	Sig.			1.000	1.000

## D.2. ANOVA de 2 factores, donde el factor de forma es la variable dependiente y los factores son los métodos y las especies. Para 5 secciones

Cuadro D7. Análisis multifactorial para  $F_0$ .

### Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Factor de forma D0

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	p
Modelo corregido	0.063 <sup>a</sup>	11	0.006	5.574	0.001
Intersección	25.611	1	25.611	25119.126	0.001
Metodo	0.027	6	0.004	4.408	0.001
Especie	0.036	5	0.007	6.972	0.001
Error	0.116	114	0.001		
Total	25.789	126			
Total corregida	0.179	125			

Cuadro D8. Comparaciones multiples de Tukey y Duncan para métodos en  $F_0$ .

### Factor de forma D0

	Metodo	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Bruce	18	0.41613799	
	Subneiloide truncado	18		0.45316766
	Neiloide truncado	18		0.45377667
	Hubber	18		0.45461212
	Cono truncado	18		0.45501173
	Smalian	18		0.45869986
	Newton	18		0.46449214
	Sig.		1.000	0.937
	Bruce	18	0.41613799	
Duncan <sup>a,b</sup>	Subneiloide truncado	18		0.45316766
	Neiloide truncado	18		0.45377667
	Hubber	18		0.45461212
	Cono truncado	18		0.45501173
	Smalian	18		0.45869986
	Newton	18		0.46449214
	Sig.		1.000	0.362

Cuadro D9. Comparaciones múltiples de Tukey y Duncan para métodos en F<sub>0</sub>

Factor de froma D0						
	Especie	N	Subconjunto			
			1	2	3	4
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	Nectandra reticulata	21	0.42219837			
	Guarea kunthiana	21	0.44303159	0.44303159		
	Hieronyma macrocarpa	21	0.44618918	0.44618918	0.44618918	
	Chrysochlamys colombiana	21		0.45304471	0.45304471	
	Quercus humboldtii	21		0.46657621	0.46657621	
	Myrcianthes leucoxylla	21			0.47401552	
	Sig.		0.153	0.169	0.061	
Duncan <sup>a,b</sup>	Nectandra reticulata	21	0.42219837			
	Guarea kunthiana	21		0.44303159		
	Hieronyma macrocarpa	21		0.44618918	0.44618918	
	Chrysochlamys colombiana	21		0.45304471	0.45304471	
	Quercus humboldtii	21			0.46657621	0.46657621
	Myrcianthes leucoxylla	21				0.47401552
	Sig.		1.000	.343	.052	0.452

El mismo procedimiento de análisis multifactorial se aplicó para fustes de 10 secciones, donde sigue habiendo diferencias estadísticas entre algunas especies y diferencias estadísticas en las clases diamétricas, pero ya no hay diferencia entre los métodos seccionales evaluados a excepción de Bruce.

Los anexos completos de los resultados y las pruebas de análisis multifactorial se adjuntan en formato digital para que sea consultado por el lector si así lo desea.