

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA



Precisión y error de la forcípula, cinta métrica y cinta diamétrica en la medición del diámetro del fuste y en el cálculo del área basal y del volumen de madera de árboles de un bosque primario intervenido, von Humboldt, Amazonia Peruana

***Tesis para optar el título de
Ingeniero Agroforestal Acuícola***

Luis Alejandro Rodríguez García

Yarinacocha, Perú

2021

ANEXO 16. ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



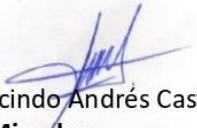
En la sala destinada para la sustentación de la tesis Plataforma Google Meet, Campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, ciudad capital de Pucallpa, a horas del día diez de mayo del dos mil veintiuno, se reunió el Jurado de Tesis presidido por la Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo, e integrado por: Mg. Karen Stephanny Córdova Flores y Mg. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada **“Precisión y error de la forcípula, cinta métrica y cinta diamétrica en la medición del diámetro del fuste y en el cálculo del área basal y del volumen de madera de árboles de un bosque primario intervenido, von Humboldt, Amazonia Peruana”**, cuya responsabilidad corresponde al Bachiller Rodríguez García, Luis Alejandro a fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Agroforestal Acuícola.

Terminada la sustentación, el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado, cuya evaluación se consolida según la tabla y parámetros cuantitativos que siguen:

Presidente	Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo	26
Miembro	Mg. Karen Stephanny Córdova Flores	24
Miembro	Mg. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano	23
Promedio		24

El Jurado después de deliberar y calibrar los aportes de la tesis y la fundamentación del sustentante, compatibilizó el resultado cuantitativo con la tabla cualitativa equivalente sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como **BUENO** asignándole un calificativo de **24 puntos**, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

Siendo las 12:10 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

 Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo Presidente	 Mg. Karen Stephanny Córdova Flores Miembro
 Mg. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano Miembro	

Nombre Asesor: Mg. Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister

Distribución: Integrantes del Jurado de Tesis, tesista y archivo FICA (Todas con firmas en original).



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

CONSTANCIA

N°0009

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

La Biblioteca Central, hace constar por la presente, que le informe Final (Tesis) titulado:

EFFECTO DE LA MEDICIÓN DEL DIÁMETRO NORMAL CON DIFERENTES INSTRUMENTOS EN LA PRECISIÓN Y ERROR DE LA MEDICIÓN DE V VARIABLES DENDROMÉTRICAS DE ÁRBOLES APROVECHABLES DE UN BOSQUE PRIMARIO INTERVENIDO, EN LA ZONA DE VON HUMBOLDT, AMAZONIA PERUANA.

Cuyo autor es : **RODRIGUEZ GARCIA, LUIS ALEJANDRO.**

Facultad : **FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA
AGROFORESTAL ACUÍCOLA.**



Escuela Profesional : **INGENIERIA AGROFORESTAL ACUÍCOLA.**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 17%.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecido en el artículo 9 de la **DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO**, aprobada con **RESOLUCIÓN N°164-2021-UNIA-CO**, el cual indica que no se debe superar el 24%. Se declara, que el trabajo de investigación: **SI contiene un porcentaje aceptable de similitud y/o plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha:27/05/2021

 **UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL
DE LA AMAZONIA - UNIA**

Dr. José de Tovar Dávila Francia
Jefe de la Biblioteca Central

La primera universidad intercultural del Perú

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Julio y Palmir quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, gracias por sus oraciones, consejos y palabras de aliento.

A mis hermanas Shari y Majid por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A mi tía María por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al M.Sc. Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas y esfuerzos que corresponden a un grupo de personas, en el caso de esta investigación debo expresar mi más sincero agradecimiento a los estudiantes del curso Dasometría, semestre académico 2019-II, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal Acuícola; quienes participaron en el trabajo de campo: Fredy Alvarado Soto, Dany Arcos Mozombite, Joys Calampa Taricuarima, Edgar Flores Pacheco, Julio Gómez Isuiza, Rober Inuma Rojas, Hellen Macahuachi Natorre, Maricela Pacaya Saavedra, Gian Carlo Sabino Arias, Leyger Tapullima Cachique, Doris Tuanama Yaicate, Eli Ustua Chacón, Liz Vásquez Saldaña, Brayan Ventura Quispe y Levis Victoriano Valerio.

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Términos generales de la medición	14
2.1.1. Precisión	14
2.1.2. Sesgo	14
2.1.3. Exactitud	14
2.1.4. Error	15
2.2. Diámetro y circunferencia del fuste	15
2.2.1. La medición del diámetro del fuste en inventarios forestales y censos comerciales en la Amazonia peruana	15
2.2.2. Diámetro del fuste	16
2.2.3. Circunferencia del fuste	16
2.3. Área basal	16
2.4. Equipos para la medición del diámetro o la circunferencia del fuste	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio	21
3.2. Identificación y descripción del material experimental	21
3.3. Procedimientos	21
3.3.1. Preparación de los formatos de campo	21
3.3.2. Medición de la circunferencia y el diámetro	21
a. Medición de la circunferencia y el diámetro con cinta métrica-diamétrica	22
b. Medición con forcípula de madera y forcípula de aluminio	22
3.3.3. Estimación de la altura de fuste	22
3.3.4. Identificación de la especie	22
3.4. Variables	22
3.5. Población y muestra	22
3.6. Tratamientos	23
3.7. Recolección de los datos	24
3.7.1. Fuentes de información	24
3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición	24
3.7.3. Tipo de muestreo	24
3.8. Procesamiento de los datos	24
3.8.1. Elaboración de la base de datos	24
3.8.2. Cálculo de la media aritmética y la media geométrica	24
3.8.3. Cálculo del diámetro normal a partir de la circunferencia	24
3.8.4. Cálculo del área basal del fuste	25
3.8.5. Cálculo del volumen del fuste	25
3.8.6. Cálculo de la precisión	25
3.8.7. Cálculo de los errores absolutos y relativos	25
3.8.8. Análisis de la excentricidad de la sección transversal del fuste	25
3.8.9. Análisis estadísticos	26

	Pág.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Análisis de la excentricidad de la sección transversal del fuste	27
4.2. Análisis de los valores extremos u outliers del diámetro del fuste	27
4.3. Análisis descriptivo de las mediciones del diámetro del fuste con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera	28
4.4. Análisis inferencial del diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera	32
4.5. Precisión en la medición del diámetro, área basal y volumen del fuste	33
4.6. Error en la medición del diámetro y el cálculo del área basal y volumen del fuste	34
V. CONCLUSIONES	37
VI RECOMENDACIONES	38
VII. BIBLIOGRAFÍA	39
VIII. ANEXOS	42

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Formato de campo	21
Cuadro 2. Distribución diamétrica de los árboles (n = 138)	23
Cuadro 3. Tabla de frecuencias para la razón entre el diámetro mayor y el diámetro menor (n = 138)	27
Cuadro 4. Primer cuartil, tercer cuartil, rango intercuartílico y límites superiores e inferiores para las diferencias de mediciones del diámetro del fuste con respecto a la medición con la cinta métrica (n = 138)	27
Cuadro 5. Estadísticos descriptivos del diámetro normal del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica y forcípula para todos los árboles (n = 138)	29
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos del diámetro normal del fuste de <i>Guazuma crinita</i> medido con cinta métrica, cinta diamétrica y forcípula sin los valores atípicos (n = 110)	30
Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre métodos para la medición del diámetro del fuste para todos los árboles (n = 138)	31
Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre métodos para el cálculo del volumen del fuste sin los valores atípicos (n = 110)	31
Cuadro 9. Errores estándar del diámetro, área basal y volumen del fuste de todos los árboles (n = 138)	34
Cuadro 10. Errores estándar del diámetro, área basal y volumen del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	34
Cuadro 11. Errores absolutos y relativos en la medición del diámetro de todos los árboles (n = 138)	35
Cuadro 12. Errores absolutos y relativos en la medición del diámetro sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	35
Cuadro 13. Errores absolutos y relativos en el cálculo del área basal del fuste de todos los árboles (n = 138)	35
Cuadro 14. Errores absolutos y relativos en el cálculo del área basal del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	35
Cuadro 15. Errores absolutos y relativos en el cálculo del volumen del fuste de todos los árboles (n = 138)	35
Cuadro 16. Errores absolutos y relativos en el cálculo del volumen del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	35
Cuadro 17. Error absoluto del volumen del fuste por hectárea para todas las especies con dap a partir de 30 cm	36
Cuadro 18. Error absoluto del volumen del fuste por hectárea para las especies maderables comerciales con dap a partir de 40 cm	36

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del diámetro normal o circunferencia normal (Tomado de Cailliez 1980)	17
Figura 2. Gráfica de cajas para detectar valores atípicos de la diferencia de mediciones del diámetro del fuste con respecto a la medición con la cinta métrica (n = 138)	28
Figura 3. Gráfica de cajas del diámetro del fuste medido medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera para todos los árboles (n = 138)	29
Figura 4. Gráfica de cajas del diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera sin los valores atípicos (n = 110)	30

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste (n = 138)	42
Anexo 2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste transformado por el logaritmo neperiano del diámetro del fuste más uno (n = 138)	42
Anexo 3. Prueba de Levene para el análisis de homogeneidad de varianzas del diámetro del fuste (n = 138)	43
Anexo 4. Análisis de varianza, con diseño de bloques al azar (tratamiento = equipo, bloque = árbol) para el diámetro del fuste (n = 138)	43
Anexo 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	44
Anexo 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste transformado por el logaritmo neperiano del diámetro del fuste más uno, sin los árboles con valores atípicos (n = 110)	44
Anexo 7. Prueba de Levene para el análisis de homogeneidad de varianzas del diámetro del fuste, sin los árboles con valores extremos (n = 110)	45
Anexo 8. Análisis de varianza, con diseño de bloques al azar (tratamiento = equipo, bloque = árbol) para el diámetro del fuste, exceptuando los árboles con valores extremos (n = 110)	46

RESUMEN

El objetivo fue determinar las diferencias en la medición del diámetro del fuste y las diferencias en el cálculo del área basal y volumen por el empleo diferentes instrumentos. Se trabajó en un bosque ubicado en el Km 86 de la Carretera Federico Basadre, Región Ucayali, Amazonia peruana. Se seleccionaron, al azar, 138 árboles con diámetro de fuste igual o superior a 30 cm. Se comparó la cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera. Con las forcípulas, los diámetros se obtuvieron mediante la media aritmética y la media geométrica. La excentricidad de la sección transversal de los fustes de los árboles fue baja. Aunque los análisis de varianza señalaron que existen diferencias ($p = 0.000$) entre los métodos para medir el diámetro, los estadísticos descriptivos indicaron que no hubo diferencias entre las mediciones, entonces cuando se miden dos diámetros con la forcípula, no hay diferencias entre el uso de la media aritmética y la media geométrica. Además, se halló que la cinta métrica y la cinta diamétrica no sobrestiman mucho el diámetro, en comparación con las forcípulas. La precisión de la medición del diámetro, área basal y volumen del fuste fue igual entre los seis métodos. Los errores de los métodos, fueron muy bajos; no superaron 1.4 cm como error absoluto, ni el 3.1% como error relativo. El menor error fue con la cinta diamétrica.

ABSTRACTS

The objective was to determine the differences in the measurement of the diameter of the stem and the differences in the calculation of the basal area and volume by the use of different instruments. Work was carried out in a forest located at Km 86 of the Federico Basadre Highway, Ucayali Region, Peruvian Amazon. 138 trees with a stem diameter equal to or greater than 30 cm were selected at random. The tape measure, diameter tape, aluminum caliper and wooden caliper were compared. With calipers, diameters were obtained by arithmetic mean and geometric mean. The eccentricity of the cross section of the tree stems was low. Although the analyzes of variance indicated that there are differences ($p = 0.000$), descriptive statistics indicated that there were no differences between the measurements. Therefore, it can be stated that, when two diameters are measured with the caliper, there are no differences between the use of the arithmetic mean and the geometric mean. In addition, it was found that the tape measure and the diameter tape do not greatly overestimate the diameter, compared to the calipers. The precision of the measurement of the diameter, basal area and volume of the stem was equal between the six methods. The errors of the methods were very low; they did not exceed 1.4 cm as an absolute error, nor 3.1% as a relative error. The smallest error was with the tape measure.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 1973, en el Perú, el régimen forestal se ha basado en cuatro versiones de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Decreto Ley N° 21147, Ley N° 27308, Decreto Legislativo N° 1090 y la actual Ley N° 29763). Los efectos de dos de estas leyes han dejado una profunda impronta política, social, económica y científica; pues, mientras que el Decreto Ley N° 21147 pauperizó el rol del manejo forestal, la Ley N° 27308 estipuló (con total y necesaria justificación) que el aprovechamiento de los bienes del bosque requería de la aprobación de planes de manejo forestal (en cualquiera de sus diferentes escalas).

La necesidad de elaborar planes de manejo para el aprovechamiento de madera obliga, a los productores forestales o usuarios del bosque (concesionarios, comunidades nativas y propietarios de predios privados), a cuantificar los volúmenes de madera mediante inventarios forestales (para los planes generales de manejo forestal) o censos comerciales (para los planes operativos) y; por lo tanto, obliga a medir los diámetros normales de los árboles (diámetros a la altura del pecho o dap) de manera conveniente.

Es pertinente mencionar que, en los bosques de producción de madera de la Amazonia peruana, por décadas, para medir los diámetros normales fue más popular el uso de la forcípula de madera¹; empero, en los últimos años, se ha impulsado el uso de la cinta diamétrica porque, se cree, es más precisa que la forcípula. Existe, entonces, un dilema para elegir el equipo más adecuado para medir los diámetros normales; pues, tanto la forcípula como la cinta diamétrica tienen ventajas y desventajas. Así, se considera que la cinta diamétrica es más precisa y fácil de transportar², pero la forcípula es más barata³ y facilita la medición de árboles gruesos y de árboles cuyo punto de medición del diámetro es alto⁴.

El reciente impulso a la trazabilidad de la madera extraída, o sea, el mecanismo para verificar la legalidad de los volúmenes de madera extraídos, demanda que los productores forestales mejoren sus métodos de medición; en especial la medición del diámetro, pues este es requerido para generar

¹ Galván G, O. 28 octubre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

² Rosado O, E. 12 noviembre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, regente.

³ Galván G, O. 28 octubre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, INIA y Rosado O, E. 12 noviembre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, regente.

⁴ Galván G, O. 28 octubre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, INIA.

otras variables de crecimiento, producción y productividad (Diéguez *et al.* 2003, Soares *et al.* 2010) expresadas por el área basal, volumen, biomasa, etc.

Con respecto a la precisión para medir el diámetro normal, la información científica considera que la cinta diamétrica es más precisa (Cailliez 1980, Synnott 1991, Alder y Synnott 1992, Prodan *et al.* 1997, Camacho 1998, Camacho 2000, Pinelo 2000, Diéguez *et al.* 2003, Silva *et al.* 2005, Rondeux 2010), aunque produce una sobreestimación en la medición del diámetro (Loetsch *et al.* 1973, Cailliez 1980, Husch *et al.* 1982, Avery y Burkhart 1994, Philip 1994, Diéguez *et al.* 2003); pero es relevante notar que los clásicos textos de dasometría o medición forestal de Pardé (1961), Mackay (1964), Bruce y Schumacher (1965), Loetsch *et al.* (1973), Cailliez (1980) y Husch *et al.* (1982) se basan en investigaciones que se realizaron en bosques templados europeos o norteamericanos. No obstante, estudios recientes efectuados en plantaciones del trópico no reportan diferencias entre la cinta diamétrica y la forcípula (Freitas y Wichert 1998, Corte *et al.* 2016, Costa *et al.* 2018).

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior, este proyecto de tesis parte de la siguiente premisa: dado que algunos métodos y uso de instrumentos para mediciones de árboles son adaptaciones de metodologías utilizadas en otros ecosistemas (Masías 2017), es necesario, entonces, investigar si aquellos son idóneos para el caso de árboles del bosque húmedo tropical. Uno de los temas que se debe determinar es si existen diferencias, en la medición del diámetro normal de los árboles aprovechables, del bosque húmedo tropical, entre la forcípula de aluminio, forcípula de madera, cinta diamétrica y cinta métrica; y determinar las diferencias que se generan en el cálculo del área basal y volumen, por efecto de la medición del diámetro normal con diferentes instrumentos.

Con base en la argumentación anterior, esta investigación plantea dos preguntas de investigación:

¿Existen diferencias entre la forcípula de aluminio, forcípula de madera, cinta diamétrica y cinta métrica en la medición del diámetro normal de árboles aprovechables de un bosque húmedo tropical?

¿Existen diferencias en el cálculo del área basal y volumen, por efecto de la medición del diámetro normal con forcípula de aluminio, forcípula de madera, cinta diamétrica y cinta métrica en la medición del diámetro normal de árboles aprovechables de un bosque húmedo tropical?

De las preguntas de investigación se derivan los objetivos de esta investigación:

- Determinar las diferencias entre la forcípula de aluminio, forcípula de madera, cinta diamétrica y cinta métrica en la medición del diámetro del fuste de árboles aprovechables de un bosque húmedo tropical de la Amazonia peruana.
- Determinar las diferencias en el cálculo del área basal y volumen, por efecto de la medición del diámetro con forcípula de aluminio, forcípula de madera, cinta diamétrica y cinta métrica en árboles aprovechables de un bosque húmedo tropical de la Amazonia peruana.

Se espera que este esfuerzo de investigación precisará los criterios para la elección del instrumento y método más adecuado para medir los diámetros del fuste, en cualesquiera de los procesos de cuantificación de madera; lo cual redundará en beneficio de todos los diferentes actores involucrados en el manejo de los bosques para la producción de madera de la Amazonia peruana, como los productores forestales (concesionarios, comunidades nativas, propietarios de predios privados, administradores de bosques locales), regentes forestales, inversionistas, investigadores y autoridades.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Términos generales de la medición

2.1.1. Precisión

La precisión es un concepto que se puede entender como la unidad más pequeña que se puede distinguir en una medición (Diéguez *et al.* 2003), cuanto más pequeña sea esa unidad, entonces mayor será la precisión (Diéguez *et al.* 2003, Soares *et al.* 2010). Por ejemplo, una balanza que mida el peso en miligramos será más precisa que una balanza que mida el peso en kilogramos. En este estudio aceptaremos el otro significado de la precisión, el cual es la variabilidad de las mediciones con respecto a la media (Diéguez *et al.* 2003).

2.1.2. Sesgo

Se considera que el sesgo es un concepto que se refiere a la media de los errores cometidos, las mediciones serían insesgadas si la media se acerca al valor real (Diéguez *et al.* 2003).

2.1.3. Exactitud

La exactitud tiene dos componentes, la precisión y el sesgo, aumenta conforme mejora la precisión y el sesgo (Diéguez *et al.* 2003) y se puede entender como la aproximación de las mediciones al valor real o valor verdadero (Soares *et al.* 2010).

Los conceptos de precisión, sesgo y exactitud se pueden apreciar mejor mediante un ejemplo. Si la altura real de los árboles de una plantación es, en promedio, 12 metros, entonces cuatro muestras se pueden calificar de la siguiente manera:

Muestra 1:	11, 12, 12 y 13	medición precisa e insesgada
Muestra 2:	20, 21, 21 y 22	medición precisa y sesgada
Muestra 3:	13, 14, 15 y 18	medición imprecisa e insesgada
Muestra 4:	20, 24, 28 y 30	medición imprecisa y sesgada

En este ejemplo, sólo la primera medición sería exacta. Se puede dilucidar que la exactitud dependerá de la performance del operador, la buena calibración del instrumento y de la aplicación del procedimiento idóneo (Soares *et al.* 2010).

2.1.4. Error

El error es la imprecisión inherente en las mediciones, el cual es desconocido pero es posible estimarlo (Diéguez *et al.* 2003). También se puede entender como la diferencia entre el valor real y el valor medido (Soares *et al.* 2010). La magnitud del error se puede expresar en términos absolutos o en términos relativos. Un ejemplo permitirá entender ambos conceptos. Si la altura real de un árbol es de 10 metros y la medición es 5 metros, entonces el error absoluto será cinco metros; en tanto que el error relativo se calcularía mediante la siguiente expresión matemática:

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor medido}}{\text{Valor real}} \times 100\%$$

O sea que el error relativo sería 50%.

2.2. Diámetro y circunferencia del fuste

2.2.1. La medición del diámetro del fuste en inventarios forestales y censos comerciales en la Amazonia peruana

La medición del diámetro del fuste es una actividad cuyo destino ha sido simultáneo con la ejecución de los inventarios forestales, en cualquiera de sus modalidades.

Frisk *et al.* (1982) y Romero (1986) testimonian que, en la Amazonia peruana, se iniciaron trabajos de cuantificación de los recursos forestales desde el año 1950. Posteriores inventarios forestales fueron llevados a cabo por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) y el Instituto de Investigaciones Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, desde los años 1965 y 1969, respectivamente (Frisk *et al.* 1982).

A partir de 1975, merced al Decreto Ley N° 21147, la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, se ejecutaron inventarios forestales en base a muestreos e inventarios forestales al 100% (estos últimos, actualmente, se denominan censos comerciales), en los bosques nacionales y en los bosques de libre disponibilidad, en estos últimos, en contratos de extracción de más de 1000 hectáreas (Frisk *et al.* 1982). Empero, la existencia de los contratos de extracción de menos de 1000 hectáreas, en los cuales no era necesario ejecutar inventarios forestales, de ningún tipo, conllevó a una suerte de periodo de oscurantismo, en lo relacionado con la cuantificación de los recursos forestales. Lo mencionado anteriormente sucedió porque en los contratos de extracción de menos de 1000 hectáreas sólo se realizaron un censo rudimentario (conocido como “mateo”) de árboles aprovechables (Colán *et al.* 2001).

A partir del año 2000, con la aprobación de la Ley N° 27308 (Ley Forestal y de Fauna Silvestre), se reiniciaron los trabajos de cuantificación forestal, mediante inventarios forestales y censos comerciales (INRENA *et al.* 2004, Sabogal *et al.* 2004); en las concesiones forestales y en los bosques de las comunidades nativas, de manera que nuevamente cobraron importancia los equipos para medir los diámetros del fuste. Así, Sabogal *et al.* (2004) identifican a la forcípula y cinta diamétrica como los instrumentos necesarios para medir el diámetro del fuste.

2.2.2. Diámetro del fuste

La literatura forestal coincide en la importancia del diámetro del fuste como variable dendrométrica, pues es fácil de medir (Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003, Rondeux 2010, Soares *et al.* 2010), sirve para cuantificar otras variables como el volumen, área basal, biomasa, etc. (Malleux 1982, Diéguez *et al.* 2003) razón por la cual es la más usada en inventarios forestales (Diéguez *et al.* 2003).

A nivel mundial, se mide el diámetro a la altura del pecho (medida que se efectúa, generalmente, a 1.30 m del suelo) o diámetro normal (López y Marchal 1991, Avery y Burkhart 1994, Diéguez *et al.* 2003, López y Ambrosio 2009).

Generalmente, cuando se mide el diámetro con una forcípula, se realizan dos mediciones (Philip 1994, Diéguez *et al.* 2003) y de estas se obtiene una media (Husch *et al.* 1982); siendo la media más común la media aritmética, pero también se emplea la media geométrica cuando la sección es muy elíptica (Diéguez *et al.* 2003).

2.2.3. Circunferencia del fuste

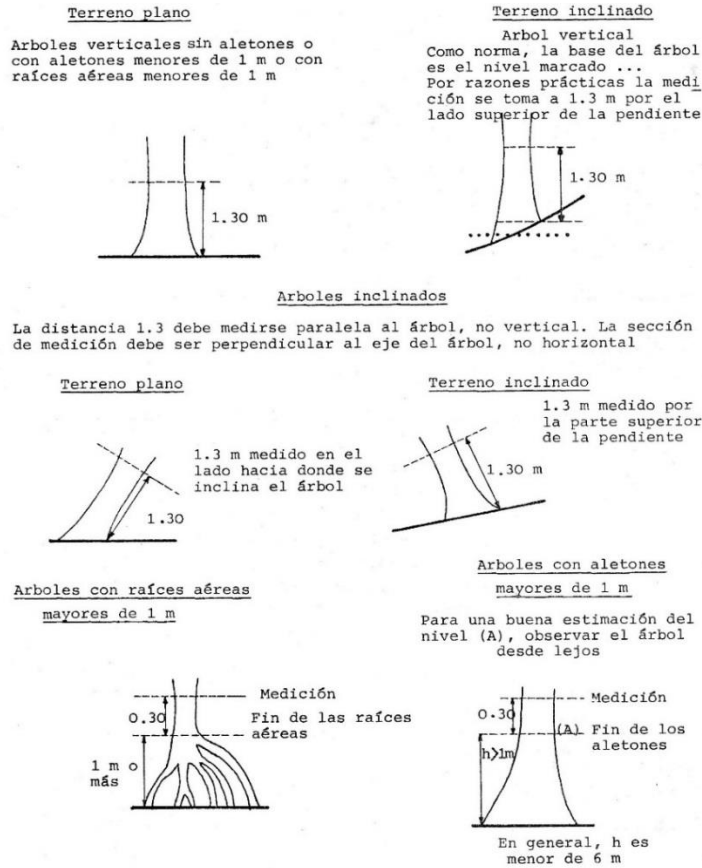
También se acostumbra medir la circunferencia del fuste, para seguidamente calcular el diámetro, la cual también se mide a 1.30 metros sobre el nivel del suelo y por esto se denomina circunferencia normal (López y Marchal 1991, Diéguez *et al.* 2003, López y Ambrosio 2009, Rondeux 2010).

2.3. Área basal

El área basal es la superficie de la sección transversal del fuste, que se denomina sección normal cuando se mide el diámetro a la “altura del pecho” (Diéguez *et al.* 2003). La sección normal se mide en cm² pero, la suma de las áreas basales de los árboles o área basimétrica se expresa en metros cuadrados por hectárea (Diéguez *et al.* 2003, Soares *et al.* 2010).

Diéguez *et al.* (2003) considera que es más preciso medir la circunferencia y de esta calcular el diámetro, para luego calcular el área basal.

Cailliez (1980), Diéguez *et al.* (2003), Rondeux (2010) y Soares *et al.* (2010) presentan figuras en las cuales se puede distinguir los procedimientos para medir el diámetro normal, dependiendo de las características del fuste de los árboles (Figura 1).

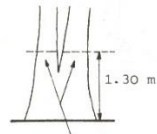


DIAMETRO DE REFERENCIA (continuación...)

Arboles bifurcados

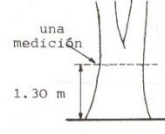
Inicio de la bifurcación

Debajo de 1.3 m



Dos mediciones
Se considera como
dos árboles

Arriba de 1.3 m



una
medición

Anomalías a 1.3 m (nudos, abultamientos, deformaciones...)

Las mediciones tienen que hacerse fuera de la parte deformada.
Si es posible, hacer 2 mediciones a igual distancia del nivel 1.3 m y tomar el promedio.
A veces sólo será posible hacer una medición

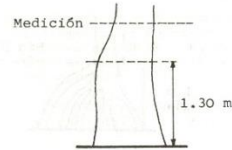
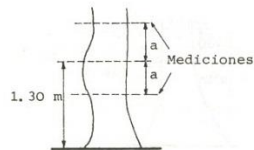


Figura 1. Ubicación del diámetro normal o circunferencia normal (Fuente Cailliez 1980)

2.4. Equipos para la medición del diámetro o la circunferencia del fuste

A nivel mundial, la cinta métrica y la forcípula son los equipos más utilizados. Con la cinta métrica se mide la circunferencia y con la forcípula se mide el diámetro (Husch *et al.* 1982; Avery y Burkhart 1994, Philip 1994). En el caso del uso de la cinta métrica, la medición tiene que dividirse entre π para generar el diámetro. No obstante, hay cintas métricas con dos escalas, una para medir circunferencias y otra para medir directamente el diámetro (Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003, Soares *et al.* 2010).

La cinta métrica tiene algunas ventajas sobre la forcípula pues es más precisa (Cailliez 1980, Synnott 1991, Alder y Synnott 1992, Prodan *et al.* 1997, Camacho 1998, Camacho 2000, Pinelo 2000, Diéguez *et al.* 2003, Silva *et al.* 2005, Rondeux 2010), dado que la lectura va a generar la media de infinitos diámetros (Rondeux 2010) y, por lo tanto, mejor para estudios de crecimiento (Prodan *et al.* 1997), su peso y volumen es pequeño lo cual la hace fácil de transportar (Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.*

2003) y la medición no es afectada por el eje que se seleccione para medir el diámetro (Diéguez *et al.* 2003).

Sin embargo, existen ciertas afirmaciones cuestionables, así, Prodan *et al.* (1997), Diéguez *et al.* (2003) y Rondeux (2010) afirman que la cinta métrica es más práctica para medir árboles muy gruesos, lo cual no sería el caso en los bosques del trópico húmedo pues, la forcípula se ha mostrado más fácil de emplear y su uso reduce el peligro por el ataque de alimañas⁵.

La literatura especializada coincide en afirmar que la cinta métrica o la cinta diamétrica sobrestiman el diámetro (Loetsch *et al.* 1973, Cailliez 1980, Husch *et al.* 1982, Avery y Burkhart 1994, Philip 1994, Diéguez *et al.* 2003); especialmente cuando se mide fustes con secciones no circulares (Prodan *et al.* 1997).

En el Perú, las cintas diamétricas son suministradas por el distribuidor Forestry Suppliers y son de fibra y de metal. Las cintas de fibra se estiran (Cailliez 1980, Camacho 1998, Diéguez *et al.* 2003) y con poco uso se borra la graduación⁶. Las cintas metálicas tienden a ensortijarse (Diéguez *et al.* 2003) y también se les borra la graduación⁷. Ambas cintas, por lo tanto, tienen una corta vida útil, por esta razón se recomienda usar cintas métricas de plástico o material sintético que son mucho más baratas, no se estiran y no se les borra la graduación; pero que sólo miden la circunferencia⁸. En este último caso, en plantaciones, sistemas agroforestales y bosques secundarios se pueden emplear la cinta métrica “de sastre” y en bosques primarios, con la presencia de árboles muy gruesos, se podrían emplear cintas métricas de mayor longitud⁹.

Las forcípulas son calibres o pies de rey, pero de mayor longitud, que tienen un brazo fijo y un brazo móvil que circula por una regla (López y Marchal 1991, Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003, López y Ambrosio 2009, Rondeux 2010, Soares *et al.* 2010).

Para medir el diámetro con una forcípula se debe tener en cuenta que la forcípula debe estar en una posición perpendicular al eje longitudinal del fuste (Cailliez 1980), ambos brazos deben estar en posición paralela (Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003, Rondeux 2010, Soares *et al.* 2010) y el brazo móvil debe mantener una posición perpendicular con la regla del instrumento (Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003, Rondeux 2010, Soares *et al.* 2010).

⁵ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

⁶ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

⁷ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

⁸ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

⁹ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

La forcípula se puede fabricar de madera, pero se dificulta mantener el paralelismo entre el brazo móvil y el brazo fijo (Rondeux 2010), este defecto se supera con las forcípulas de aluminio¹⁰.

Los estudios comparativos entre la cinta métrica y la forcípula señalan que no existen diferencias, estadísticamente significativas, entre ambos instrumentos cuando se miden los diámetros normales en plantaciones, así, Corte *et al.* (2016) no hallaron diferencias en una plantación de *Cryptomeria japonica*, en tanto que Freitas y Wichert (1998) tampoco encontraron diferencias en *Pinus* spp. y *Eucalyptus* spp. En sistemas agroforestales, Costa *et al.* (2018) tampoco halló diferencias en *Toona ciliata* y *Swietenia macrophylla*.

En el caso de un bosque natural, pero mayormente coetáneo, de *Nothofagus pumilio* (Tierra del Fuego, Argentina); Wabö *et al.* (2007) reportan diferencias entre el dap medido con cinta diamétrica y el dap medido con forcípula (para el diámetro medido en un eje, la media aritmética de dos diámetros, la media geométrica de dos diámetros y la media aritmética de tres diámetros).

¹⁰ Galván G, O. 20 mayo 2019. Medición de árboles (entrevista). Pucallpa, Perú, UNIA.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el bosque primario intervenido de la Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt, sobre una extensión de ocho (08) hectáreas, ubicada en el km 86 de la Carretera Federico Basadre. Políticamente perteneciente al Distrito Alexander von Humboldt, Provincia Padre Abad, Región Ucayali.

Angulo *et al.* (1997) afirma que el bosque, de la Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt, se encuentra en una fisiografía de colinas bajas y pertenece a la zona de vida bosque húmedo premontano tropical. La temperatura media anual es de 27 °C, con una temperatura máxima de 31°C y mínima de 21°C. La humedad relativa media es de 75% y la precipitación media anual alcanza los 3600 mm.

3.2. Identificación y descripción del material experimental

El material experimental fueron los árboles con un diámetro normal (o dap) mayor o igual a 30 cm, de cualquiera de las especies existentes.

3.3. Procedimientos

3.3.1. Preparación de los formatos de campo

En un cuaderno se anotaron los datos, es decir las mediciones de cada árbol (Cuadro 1).

Cuadro 1. Formato de campo

Especie	Altura de fuste	Circunferencia con cinta métrica	Diámetro con cinta diamétrica	Diámetro mayor con forcípula de madera	Diámetro menor con forcípula de madera	Diámetro mayor con forcípula de aluminio	Diámetro menor con forcípula de aluminio

3.3.2. Medición de la circunferencia y el diámetro

Cuando fue posible se midió la circunferencia y el diámetro del fuste a 1.30 m del suelo, de manera que en este caso, estrictamente, se midió la circunferencia normal y el diámetro normal (conocidos como la circunferencia “a la altura del pecho” y diámetro “a la altura del pecho”, respectivamente). Empero, la principal decisión, fue medir la circunferencia y el diámetro a una altura del fuste en que

no hubo deformaciones, pudriciones, irregularidades debidas a las raíces tablares o raíces fúlcreas, desgarros o cualquier otra anomalía que pudo alterar la medición.

a. Medición de la circunferencia y el diámetro con cinta métrica-diamétrica

Las mediciones se efectuaron en centímetros, con aproximación al milímetro. Se empleó la cinta métrica-diamétrica de aluminio, del proveedor Forestry Suppliers, la cual tiene ambas graduaciones. De manera rigurosa, la cinta métrica-diamétrica se colocó perpendicularmente al fuste.

Cuando se midió la circunferencia, el diámetro se calculó dividiendo la medición de la circunferencia entre el valor de π .

b. Medición con forcípula de madera y forcípula de aluminio

Se midieron dos diámetros, el diámetro mayor y el diámetro menor, dado que estas direcciones son consuetudinariamente las más empleadas en inventarios forestales y censos comerciales, en la Amazonia peruana¹¹. Con ambos instrumentos, la forcípula se colocó perpendicularmente al eje imaginario del fuste. En el caso de la forcípula de madera, se trató de mantener el paralelismo entre el brazo fijo y el brazo móvil.

3.3.3. Estimación de la altura de fuste

La altura del fuste consistió en una estimación que proporcionó el parataxónomo o “matero”, de la longitud desde el nivel del suelo hasta el punto en que se inicia la copa.

3.3.4. Identificación de la especie

Para esta investigación los árboles se identificaron a nivel del nombre común dado por el parataxónomo o “matero”.

3.4. Variables

Las variables de respuesta fueron el diámetro del fuste, el área basal de la sección en el punto donde se midió el diámetro o la circunferencia y el volumen del fuste.

3.5. Población y muestra

En esta investigación no fue pertinente definir una población o una muestra, pues a partir de los datos no se va a inferir las características de una población. Pero, para efectos de los análisis

¹¹ Rosado O, E. 12 noviembre 2019. Medición de diámetros normales en bosques primarios (entrevista). Pucallpa, Perú, regente.

estadísticos, se midió un número no menor de 30 árboles, para cumplir con el teorema del límite central.

Finalmente, se lograron medir 138 árboles, sobre una extensión de dos hectáreas. Si se acepta que el diámetro mínimo de corta (DMC), generalmente, es mayor de 40 cm, entonces se midieron 62 árboles con diámetros inferiores al DMC y 76 árboles con diámetros superiores al DMC (Cuadro 2). Cabe precisar que, en la base de datos, se aceptaron a todos aquellos árboles que alcanzaron o superaron los 30 cm de diámetro, medido con uno o más de los instrumentos.

Cuadro 2. Distribución diamétrica de los árboles (n = 138)

	Clase diamétrica						
	30.0-39.9	40.0-49.9	50.0-59.9	60.0-69.9	70.0-79.9	80.0-89.9	> 90.0
Cantidad	62	28	23	13	6	4	2

3.6. Tratamientos

Se realizaron tres análisis, uno por cada variable de respuesta (diámetro del fuste, área basal del fuste y volumen del fuste); donde los tratamientos fueron los equipos que se emplearon para medir los diámetros:

- Diámetro medido con cinta métrica (CM).
- Diámetro medido con cinta diamétrica (CD).
- Diámetro calculado mediante media aritmética de dos diámetros medidos con la forcípula de aluminio (FAMA).
- Diámetro calculado mediante media geométrica de dos diámetros medidos con la forcípula de aluminio (FAMG).
- Diámetro calculado mediante media aritmética de dos diámetros medidos con la forcípula de madera (FMMA).
- Diámetro calculado mediante media geométrica de dos diámetros medidos con la forcípula de madera (FMMG).

Debe notarse que los cuatro últimos tratamientos, más que referirse a equipos, se refieren a métodos de medición del diámetro del fuste, por lo tanto, en adelante, el término equipo o método de medición de diámetro del fuste se referirán a lo mismo.

3.7. Recolección de los datos

3.7.1. Fuentes de información

La fuente de información fue primaria, pues se realizaron mediciones.

3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición

La unidad experimental fue cada árbol que, además, fue la unidad de medición.

3.7.3. Tipo de muestreo

Como ya se mencionó en el acápite 3.5., para fines de los análisis estadísticos se midieron no menos de 30 árboles seleccionados al azar, para completar el número de repeticiones que se requería para realizar el análisis de varianza.

3.8. Procesamiento de los datos

3.8.1. Elaboración de la base de datos

Los datos se vaciaron de los formatos de campo a una hoja de cálculo EXCEL, en la cual se calculó, para cada árbol, el diámetro (a partir de la circunferencia), el área basal y el volumen.

3.8.2. Cálculo de la media aritmética y la media geométrica

Las medias aritméticas y las medias geométricas se calcularon mediante las expresiones matemáticas proporcionadas por Moya (2005):

$$\overline{dap.a} = \frac{dap_1 + dap_2}{2}$$

$$\overline{dap.g} = \sqrt[2]{dap_1 \times dap_2}$$

Donde: $\overline{dap.a}$ = media aritmética

$\overline{dap.g}$ = media geométrica

dap_1 = primer dap

dap_2 = segundo dap

3.8.3. Cálculo del diámetro normal a partir de la circunferencia

Se empleó la fórmula matemática conocida (Diéguez *et al.* 2003):

$$dap = \frac{circunferencia}{\pi}$$

3.8.4. Cálculo del área basal del fuste

Se empleó la fórmula matemática conocida (Diéguez *et al.* 2003):

$$\text{Área basal} = \frac{\pi \times dap^2}{40000}$$

Donde el dap se midió en centímetros y el área basal en metros cuadrados.

3.8.5. Cálculo del volumen del fuste

Se empleó la fórmula para el cálculo de volúmenes de fuste (Diéguez *et al.* 2003).

$$\text{Volumen} = \text{Área basal} \times \text{Altura de fuste} \times 0.70$$

3.8.6. Cálculo de la precisión

La precisión se determinó mediante el error estándar (Diéguez *et al.* 2003), entendido como una desviación estándar de las medias aritméticas muestrales con respecto a la media aritmética poblacional; por lo tanto, se entiende que, a menor error estándar, mayor precisión.

3.8.7. Cálculo de los errores absolutos y relativos

Asumiendo las recomendaciones de Diéguez *et al.* (2003), el error absoluto se calculó mediante la diferencia entre el diámetro normal que se midió con la cinta métrica y el diámetro normal que se midió bajo otro modo.

$$\text{Error absoluto} = \text{valor absoluto [con la cinta métrica – con otra modalidad]}$$

El error relativo fue valor absoluto del error absoluto entre el diámetro normal que se midió con la cinta métrica, expresado en porcentaje.

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{valor absoluto}}{\text{con la cinta métrica}} \times 100\%$$

3.8.8. Análisis de la excentricidad de la sección transversal del fuste

Aunque el área basal del fuste se calcula mediante el empleo de la fórmula del círculo, pues se asume que la sección transversal del fuste de los árboles es circular, en realidad siempre existirá cierta excentricidad o irregularidad en la forma de la sección transversal (Cailliez 1980, Husch *et al.* 1982, Philip 1994, Prodan *et al.* 1997, Diéguez *et al.* 2003). En este estudio la excentricidad se estimó mediante el cálculo de la razón entre dos diámetros que, en esta investigación, fueron el diámetro mayor y el diámetro menor que se midieron con la forcípula de aluminio.

3.8.9. Análisis estadísticos

El límite inferior y el límite superior de los gráficos de caja se calcularon mediante las siguientes expresiones matemáticas (Montgomery y Runger 2013):

Límite inferior = Primer cuartil – 1.5 x rango intercuartílico

Límite superior = Tercer cuartil + 1.5 x rango intercuartílico.

Para comparar los tratamientos, de la misma manera que Costa *et al.* (2018), se realizó un análisis de correlación y un análisis de varianza con diseño de bloques completamente al azar, donde el tratamiento fue el equipo con el que se midió el diámetro y el bloque fue el árbol.

El supuesto de normalidad, del análisis de varianza, se probó con la prueba de kolmogorov-Smirnov.

El supuesto de homogeneidad de varianzas u homocedasticidad, del análisis de varianza, se probó con la prueba de Bartlett (si se cumplió con la prueba de normalidad) o con la prueba de Levene (si no se cumplió con la prueba de normalidad).

En caso que no se cumplió uno o los dos supuestos, del análisis de varianza, la variable se transformó mediante el logaritmo neperiano más uno.

De acuerdo con Prodan *et al.* (1997) la excentricidad se analizó mediante un análisis de correlación, el cual mide la fuerza de la asociación (mediante el coeficiente de correlación de Pearson) entre dos variables que, en este caso fueron el diámetro mayor y el diámetro menor que se midieron con la forcípula de aluminio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la excentricidad de la sección transversal del fuste

Los resultados fueron interesantes, dado que señalaron que la sección transversal del fuste, de las diferentes especies, fue muy cercana a la forma circular (Cuadro 3). Nótese que casi el 84% de los árboles tuvieron una razón de entre 1.00 y 1.18 y casi el 16% de entre 1.18 y 1.35.

Asimismo, el coeficiente de correlación de Pearson, entre el diámetro mayor y el diámetro menor que se midieron con la forcípula de aluminio, fue de 0.978; e indicó que no es alta la excentricidad de la sección de los árboles de un bosque primario del trópico húmedo, como comúnmente se considera.

Cuadro 3. Tabla de frecuencias para la razón entre el diámetro mayor y el diámetro menor (n = 138)

Clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia porcentual (%)
[1.00 - 1.18 >	115	83.4
[1.18 - 1.35 >	22	15.9
[1.35 - 1.53 >	0	0.0
[1.53 - 1.70 >	1	0.7
	138	100.0

4.2. Análisis de los valores extremos u outliers del diámetro del fuste

Mediante el cálculo del primer cuartil, el tercer cuartil, el rango intercuartílico y los límites superiores e inferiores (Cuadro 4) y un gráfico de cajas (Figura 2) se detectaron 28 valores atípicos u outliers.

Cuadro 4. Primer cuartil, tercer cuartil, rango intercuartílico y límites superiores e inferiores para las diferencias de mediciones del diámetro del fuste con respecto a la medición con la cinta métrica (n = 138)

	Primer cuartil	Tercer cuartil	Rango intercuartil	Límite inferior	Límite superior
CM-CD	-0.10	0.10	0.20	-0.40	0.40
CM-FAMA	0.40	1.40	1.00	-1.10	2.90
CM-FMMA	0.50	1.80	1.30	-1.45	3.75
FAMA-FMMA	0.00	0.70	0.70	-1.05	1.75

CM=diámetro medido con cinta métrica, CD= diámetro medido con cinta diamétrica, FAMA=media aritmética de dos diámetros medidos con forcípula de aluminio, FMMA=media aritmética de dos diámetros medidos con forcípula de madera.

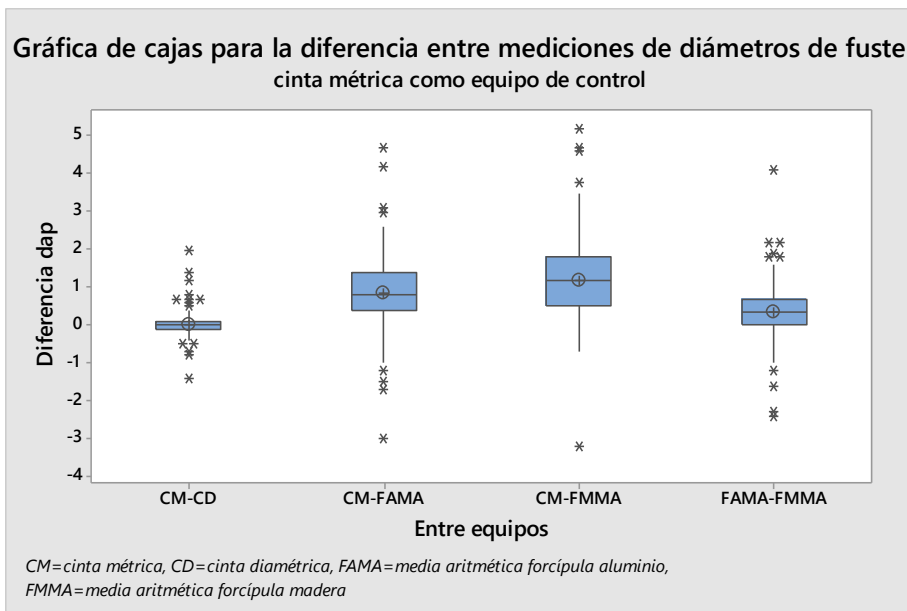


Figura 2. Gráfica de cajas para detectar valores atípicos de la diferencia de mediciones del diámetro del fuste con respecto a la medición con la cinta métrica (n = 138)

4.3. Análisis descriptivo de las mediciones del diámetro del fuste con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera

Se comparó el diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera a nivel de cada árbol; con estos dos últimos instrumentos los diámetros del fuste se obtuvieron mediante la media aritmética y la media geométrica; para todos los 138 árboles que se midieron; por lo tanto, en lo sucesivo, se considera que se compararon, en realidad, seis (06) métodos para medir el diámetro del fuste.

Los estadísticos de tendencia central (media y mediana) no difirieron de manera notoria pues, entre la cinta métrica y la cinta diamétrica, sus respectivas medias aritméticas y medianas variaron en centésimas de centímetro. Asimismo, entre la forcípula de aluminio empleando la media aritmética y la forcípula de aluminio empleando la media geométrica y entre la forcípula de madera empleando la media aritmética y la forcípula de madera empleando la media geométrica, las medias aritméticas y las medianas variaron en décimas de centímetro (Cuadro 5). No obstante, se reconoce que la cinta métrica y la cinta diamétrica presentaron medias y medianas ligeramente superiores a las calculadas con las forcípulas (Cuadro 5 y Figura 3).

Con respecto a la variabilidad, las desviaciones estándar y los coeficientes de variabilidad variaron en centésimas de centímetro y centésimas a décimas de porcentaje; respectivamente (Cuadro 5).

En la gráfica de cajas del diámetro del fuste (Figura 3) se observa que la variabilidad entre los equipos fue similar, pues los rangos intercuartílicos (o sea, el largo de las cajas) y los rangos (o sea, la prolongación de los “bigotes”) fueron similares.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos del diámetro normal (cm) del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica y forcípula para todos los árboles (n = 138)

Estadístico	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	46.63	46.61	45.78	45.67	45.42	45.31
Mediana	42.20	42.25	41.30	41.10	40.75	40.65
Primer cuartil	34.95	34.70	33.60	33.50	33.20	33.18
Tercer cuartil	56.58	56.63	55.05	54.95	54.02	53.92
Rango	65.60	66.10	64.20	64.20	62.20	62.10
Rango intercuartílico	21.63	21.93	21.45	21.45	20.82	20.75
Desviación estándar	15.40	15.39	15.33	15.33	15.26	15.25
Coefficiente de variabilidad	33.03	33.01	33.49	33.56	33.59	33.65
Error estándar	1.31	1.31	1.31	1.30	1.30	1.30

CM= diámetro medido con cinta métrica, CD= diámetro medido con cinta diamétrica, FAMA=media aritmética de dos diámetros medidos con forcípula de aluminio, FAMG=media geométrica de dos diámetros medidos con forcípula de aluminio, FMMA=media aritmética de dos diámetros medidos con forcípula de madera, FMMG=media geométrica de dos diámetros medidos con forcípula de madera.

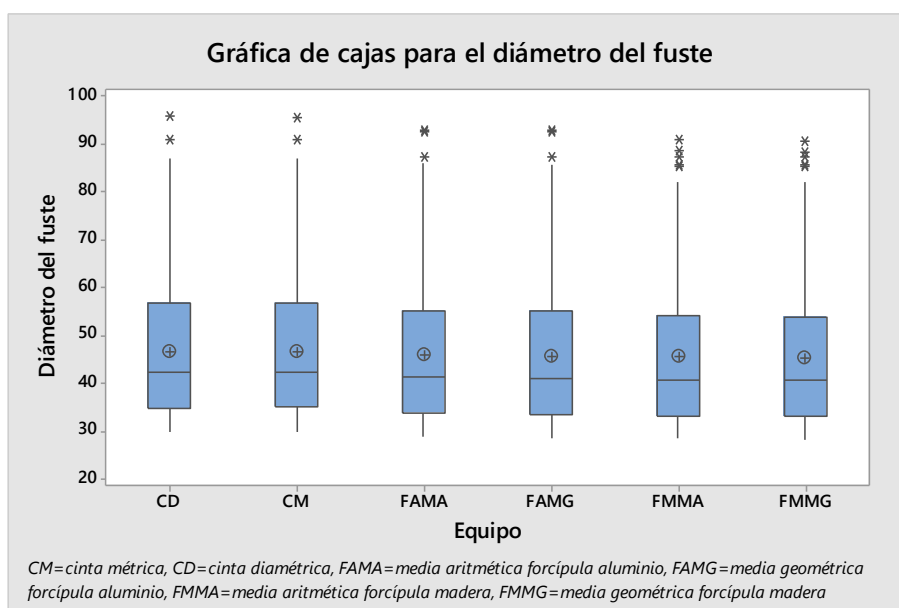


Figura 3. Gráfica de cajas del diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera para todos los árboles (n = 138)

Sin los árboles que presentaron diámetros con valores atípicos (n = 110), los estadísticos mantuvieron la misma tendencia que para el total de árboles. Los estadísticos de tendencia central (media y mediana) tampoco presentaron fuertes diferencias (Cuadro 6), así, las diferencias

ligeramente superaron un centímetro sólo entre la cinta métrica y la cinta diamétrica con respecto a la forcípula de madera.

Nuevamente, la cinta métrica y la cinta diamétrica presentaron medias y medianas ligeramente superiores a las calculadas con las forcípulas (Cuadro 6 y Figura 4). Con respecto a la variabilidad, las desviaciones estándar y los coeficientes de variabilidad fueron muy similares (Cuadro 6 y Figura 4).

En este estudio, el análisis de los datos, con la discriminación de los valores atípicos, no aportó resultados diferentes y de interés.

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos del diámetro normal del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica y forcípula sin los valores atípicos (n = 110)

Estadístico	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	44.96	44.99	44.19	44.08	43.85	43.74
Mediana	40.10	40.15	39.75	39.60	39.65	39.45
Primer cuartil	33.10	33.10	33.20	33.10	32.63	32.55
Tercer cuartil	54.13	54.05	52.95	52.93	52.70	52.67
Rango	57.00	57.30	58.70	58.80	58.90	59.00
Rango intercuartílico	21.02	20.95	19.75	19.83	20.08	20.12
Desviación estándar	14.26	14.25	14.11	14.11	14.19	14.19
Coefficiente de variabilidad	31.72	31.67	31.93	32.00	32.37	32.44
Error estándar	1.36	1.36	1.35	1.34	1.35	1.35

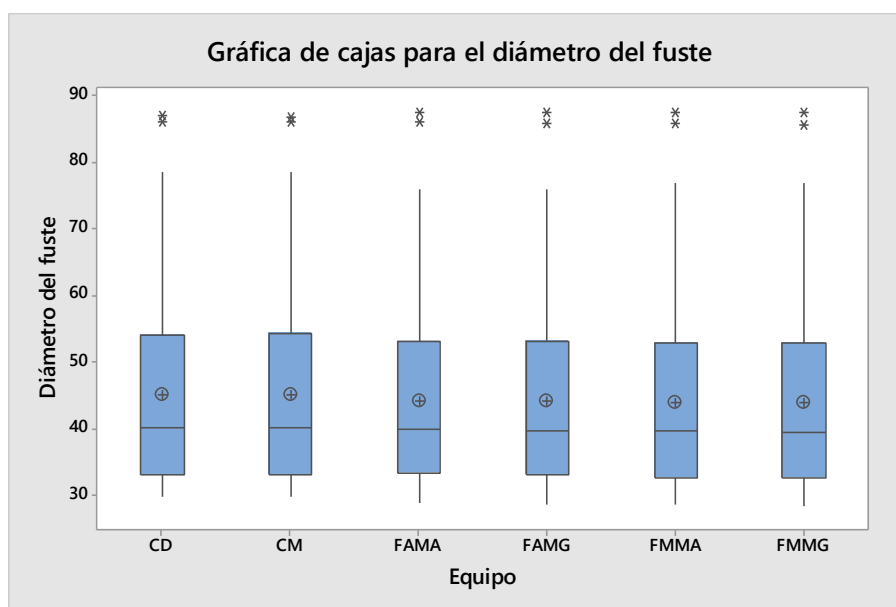


Figura 4. Gráfica de cajas del diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera sin los valores atípicos (n = 110)

Los coeficientes de Pearson, de los análisis de correlación (Cuadros 7 y 8), corroboraron los anteriores análisis descriptivos, puesto que las asociaciones entre los equipos de medición de los diámetros de fuste fueron muy altos y cercanos a la unidad.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre métodos para la medición del diámetro del fuste para todos los árboles (n = 138)

Equipo	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA
CD	1.000				
FAMA	0.998	0.998			
FAMG	0.998	0.998	1.000		
FMMA	0.997	0.997	0.999	0.999	
FMMG	0.997	0.997	0.999	0.999	1.000

Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre métodos para el cálculo del volumen del fuste sin los valores atípicos (n = 110)

Equipo	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA
CD	1.000				
FAMA	0.999	0.999			
FAMG	0.998	0.999	1.000		
FMMA	0.998	0.999	0.999	0.999	
FMMG	0.998	0.998	0.999	0.999	1.000

Los resultados de este estudio respaldan a Loetsch *et al.* (1973), Cailliez (1980), Husch *et al.* (1982), Avery y Burkhart (1994), Philip (1994) y Diéguez *et al.* (2003); en el sentido de que la cinta métrica y la cinta diamétrica generan mediciones mayores que la forcípula cuando se miden los diámetros de los mismos árboles, sin embargo, en este estudio se halló que aquella sobrestimación es muy reducida y se puede despreciar.

Por lo tanto, se discrepa con Diéguez *et al.* (2003), pues, en términos matemáticos y estadísticos, no es clara la ventaja de medir la circunferencia con respecto a la medición de dos diámetros medidos con forcípula. Empero, si se considera que la ventaja de la medición de la circunferencia con una cinta métrica, con respecto a la medición de dos diámetros con forcípula, es más notoria en términos operacionales cuando se realiza el monitoreo del crecimiento, porque la medición con cinta métrica no podría generar un error relacionado con la dirección en la que se mide uno o dos diámetros con la forcípula.

Queda por conjeturar que, si se midieran, ex profesamente, diámetros de especies con secciones transversales irregulares o excéntricas del fuste, los resultados podrían variar, confirmar la afirmación de Prodan *et al.* (1997) y coincidir con los hallazgos de Wabö *et al.* (2007).

4.4. Análisis inferencial del diámetro del fuste medido con cinta métrica, cinta diamétrica, forcípula de aluminio y forcípula de madera

Con el total de árboles ($n = 138$) se procedió a realizar un análisis de varianza. Antes se probaron los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (Anexo 1) señaló que los datos no se distribuyeron normalmente ($p < 0.010$), ni siquiera con la variable transformada (Anexo 2) por el logaritmo neperiano más uno ($p < 0.010$).

No fue así en el caso del supuesto de homogeneidad de varianzas pues, la prueba de Levene (Anexo 3) encontró que los datos presentaron varianzas similares por equipo ($p = 1.000$).

No se consideró el incumplimiento del supuesto de normalidad como un impedimento para realizar el análisis de varianza; pues este tipo de análisis estadístico es una prueba robusta ante el incumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Steel y Torrie 1988, Sokal y Rohlf 2002, Box *et al.* 2008, Montgomery 2013), especialmente cuando el análisis de varianza es balanceado, o sea, que tiene el mismo número de repeticiones en cada tratamiento (Samuels *et al.* 2012, Montgomery 2013), es del modelo de efectos fijos (Montgomery 2013) y la muestra no es pequeña (Samuels *et al.* 2012).

El análisis de varianza (Anexo 4), con diseño de bloques completos al azar (tratamiento = equipo, bloque = árbol), sin los datos transformados, para el diámetro del fuste (dap) encontró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.000$) entre los equipos para obtener el diámetro del fuste.

Se emplearon los resultados del análisis de valores atípicos para realizar la misma prueba, pero esta vez sin los valores atípicos ($n = 110$ árboles). Nuevamente se halló que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, ya sea con los datos sin transformar (Anexo 5), o transformados por el logaritmo neperiano más uno (Anexo 6); pues, en ambos casos, la probabilidad fue menor de 0.010. Pero se halló que los datos cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianzas pues, la prueba de Levene (Anexo 7) encontró que los datos presentaron varianzas similares por tratamiento o equipo ($p = 1.000$).

Asimismo, el análisis de varianza (Anexo 8), análogo al que se realizó con el total de árboles; señaló que existen diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.000$).

No obstante, no es posible afirmar que los análisis de varianza (Anexo 4 y Anexo 8) fueron categóricos o concluyentes en demostrar que existen diferencias estadísticas entre los equipos, pues fue evidente que el mayor componente de la variación fue la variación entre los árboles, mas no entre los equipos.

De la suma de cuadrados de cada componente, y para el total de árboles, se encontró que la variación debida a los equipos fue de 0.12 % ($232/193275 \times 100\%$), la variación debida a los árboles fue de 99.74 % ($192766/193275 \times 100\%$) y la debida al error experimental de 0.14 % ($277/193275 \times 100\%$). En cuanto al grupo sin árboles con valores atípicos, la variación fue de 0.12 % ($163/131758 \times 100\%$) para los equipos, 99.80 % ($131487/131758 \times 100\%$) para los árboles y de 0.08 % ($108/131758 \times 100\%$) para al error experimental.

De los resultados se desprende que se cometió error tipo I¹², o sea que se rechazó la hipótesis nula (la medición de los dap son similares con cualesquiera de los equipos) siendo verdadera. Existe referencias que señalan que, cuando la variación en los bloques supera a la variación de los tratamientos, las conclusiones podrían ser espurias (Samuels *et al.* 2012, Sokal y Rohlf 2002).

Por lo tanto, dado que los árboles son la principal fuente de variabilidad (en detrimento de los instrumentos) y dadas las insignificantes diferencias entre las medias, medianas, desviaciones estándar y coeficientes de variabilidad; entre los equipos, se coligió que, en realidad, no hubo diferencias estadísticas significativas y, por consiguiente, no se justificó proceder con las comparaciones de medias. Los resultados que se hallaron, permitieron deducir que un análisis similar para el área basal y el volumen serian fútiles e innecesarios.

4.5. Precisión en la medición del diámetro, área basal y volumen del fuste

Tanto para el total de árboles medidos (Cuadro 9), como para el grupo sin los árboles con valores atípicos (Cuadro 10), la precisión de los seis métodos y para las tres variables (diámetro, área basal y volumen del fuste) fueron similares, con diferencias insignificantes; dado que el error estándar para el diámetro varió en una centésima de centímetro, para el área basal en no más de cuatro de

¹² De Mendiburu, Felipe. 5 febrero 2020. Diseños experimentales (entrevista). Lima, Perú, UNALM.

diez milésimas de metro cuadrado y para el volumen en no más de cinco de milésimas de metro cúbico.

La mayor diferencia, en precisión del cálculo de volúmenes, se encontró entre la cinta métrica y diamétrica, con respecto a la forcípula de madera.

Aunque la extensa literatura (Cailliez 1980, Synnott 1991, Alder y Synnott 1992, Prodan *et al.* 1997, Camacho 1998, Camacho 2000, Pinelo 2000, Diéguez *et al.* 2003, Silva *et al.* 2005 y Rondeux 2010) afirme que la cinta métrica es más precisa que la forcípula (de aluminio y de madera), los resultados de este estudio no la respaldaron.

Cuadro 9. Errores estándar del diámetro, área basal y volumen del fuste de todos los árboles (n = 138)

Variable	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Diámetro (cm)	1.31	1.31	1.31	1.30	1.30	1.30
área basal (m ²)	0.0115	0.0115	0.0114	0.0113	0.0112	0.0111
Volumen (m ³)	0.123	0.123	0.122	0.122	0.120	0.120

Cuadro 10. Errores estándar del diámetro, área basal y volumen del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)

Variable	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Diámetro (cm)	1.36	1.36	1.35	1.34	1.35	1.35
área basal (m ²)	0.0113	0.0113	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111
Volumen (m ³)	0.121	0.121	0.117	0.116	0.118	0.117

4.6. Error en la medición del diámetro y el cálculo del área basal y volumen del fuste

Con respecto al diámetro del fuste que se midió con la cinta métrica, la cual se consideró como el diámetro real; las medias aritméticas y las medianas, de los errores absolutos y relativos, fueron muy bajas; pues no superaron 1.4 cm como error absoluto, ni el 3.1% como error relativo (Cuadros 11 y 12). El menor error se halló para el caso de la cinta diamétrica.

Tal como afirman Prodan *et al.* (1997), los errores en el cálculo del área basal y el volumen fueron mayores que en la medición del diámetro, dado que, en algunos casos, el error relativo del área basal fue el doble del error relativo del diámetro. Los errores para el cálculo del área basal y el volumen por árbol (Cuadros 13, 14, 15 y 16), obtenidos para los diferentes equipos, mostraron la misma tendencia que en el caso de los diámetros. Los errores mayores se obtuvieron cuando se empleó la forcípula de madera y la media geométrica, puesto que alcanzó una media de 6.1%.

Cuadro 11. Errores absolutos y relativos en la medición del diámetro de todos los árboles (n = 138)

Estadístico	Error absoluto dap (cm)					Error relativo dap (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.2	1.1	1.2	1.3	1.4	0.5	2.4	2.6	2.9	3.1
Mediana	0.1	0.9	0.9	1.3	1.3	0.3	2.1	2.3	2.5	2.9

Cuadro 12. Errores absolutos y relativos en la medición del diámetro sin los árboles con valores atípicos (n = 110)

Estadístico	Error absoluto dap (cm)					Error relativo dap (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.1	0.9	1.0	1.2	1.3	0.3	2.2	2.3	2.7	2.9
Mediana	0.1	0.8	0.8	1.2	1.3	0.3	2.0	2.1	2.3	2.6

Cuadro 13. Errores absolutos y relativos en el cálculo del área basal del fuste de todos los árboles (n = 138)

Estadístico	Error absoluto área basal (m ²)					Error relativo área basal (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.002	0.008	0.009	0.010	0.011	1.0	4.7	5.0	5.7	6.1
Mediana	0.001	0.006	0.007	0.008	0.008	0.7	4.1	4.4	5.0	5.6

Cuadro 14. Errores absolutos y relativos en el cálculo del área basal del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)

Estadístico	Error absoluto área basal (m ²)					Error relativo área basal (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.001	0.007	0.007	0.008	0.009	0.6	4.3	4.6	5.3	5.8
Mediana	0.001	0.005	0.006	0.007	0.008	0.6	3.9	4.2	4.9	5.3

Cuadro 15. Errores absolutos y relativos en el cálculo del volumen del fuste de todos los árboles (n = 138)

Estadístico	Error absoluto volumen (m ³)					Error relativo volumen (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.011	0.066	0.070	0.078	0.084	1.0	4.7	5.0	5.7	6.1
Mediana	0.006	0.039	0.041	0.047	0.051	0.7	4.1	4.4	5.0	5.6

Cuadro 16. Errores absolutos y relativos en el cálculo del volumen del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)

Estadístico	Error absoluto volumen (m ³)					Error relativo volumen (%)				
	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Media aritmética	0.007	0.054	0.059	0.064	0.070	0.6	4.3	4.6	5.3	5.7
Mediana	0.006	0.036	0.039	0.044	0.047	0.6	4.0	4.3	5.0	5.3

Debe notarse que los errores, que figuran en los cuadros anteriores, son a nivel de árbol, empero cuando se analizan los errores del volumen de fuste, por hectárea, el juicio cambia, pues se pudo distinguir diferencias entre los métodos. Nótese que el error absoluto varió de 2.4 a 3.7 metros cúbicos por hectárea, para todas las especies y a partir de 30 cm de dap (Cuadro 17), lo cual parece insignificante, pero la perspectiva cambia cuando se considera que, en un área de aprovechamiento de 250 ha a 6000 ha (la mínima y máxima superficie de aprovechamiento anual, en las concesiones con fines maderables en la Amazonia peruana) el error absoluto (por área de corta) acumularía un mínimo de 600 metros cúbicos y un máximo de 22 200 metros cúbicos (equivalentes a 132 000 y 4 884 000 pies tablares aserrados, respectivamente). Para las especies maderables comerciales, con dap a partir de 40 cm (Cuadro 18), también en un área de aprovechamiento de 250 ha a 6000 ha, el error absoluto (por área de corta) acumularía un mínimo de 225 metros cúbicos y un máximo de 7 200 metros cúbicos (equivalentes a 49 500 y 1 584 000 pies tablares aserrados, respectivamente).

Con base en las cifras anteriores y el abordaje de las diferencias con un enfoque de producción de madera, se puede considerar que los resultados difieren entre el uso de la cinta métrica o la cinta diamétrica, con respecto a cualquiera de las dos forcípulas, indistintamente de que se midan dos diámetros y de la media que se emplee para calcular el dap.

Cuadro 17. Error absoluto del volumen del fuste por hectárea para todas las especies con dap a partir de 30 cm

Variable	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Volumen (m ³) del bosque por ha	61.9	61.8	59.5	59.2	58.5	58.2
Error absoluto (m ³ /ha)		0.1	2.4	2.7	3.4	3.7
Error relativo (%)		0.2	3.9	4.4	5.5	6.0

Cuadro 18. Error absoluto del volumen del fuste por hectárea para las especies maderables comerciales con dap a partir de 40 cm

Variable	CM	CD	FAMA	FAMG	FMMA	FMMG
Volumen (m ³) del bosque por ha	19.7	19.6	18.8	18.7	18.5	18.4
Error absoluto (m ³ /ha)		0.1	0.9	1.0	1.1	1.2
Error relativo (%)		0.3	4.4	4.9	5.8	6.3

Los resultados no respaldaron la afirmación de que, cuando se miden dos diámetros con la forcípula, el uso de la media aritmética y la media geométrica generan diferentes resultados, pero quizás se hallarían diferencias con especies con secciones transversales del fuste elípticas (tal como sugieren Diéguez *et al.* 2003).

V. CONCLUSIONES

- En un bosque húmedo tropical primario, prístino o intervenido, de colinas bajas; a nivel de árbol, la cinta métrica no genera mayor precisión ni disminuye el error en la medición del diámetro del fuste y en el cálculo del área basal y del volumen con respecto a la forcípula de aluminio y de madera, siempre y cuando, con estos dos últimos equipos, se genere una media a partir de por lo menos dos diámetros.
- El empleo de la cinta métrica es indiferente del empleo de la cinta diamétrica en la medición del diámetro del fuste.
- El empleo de la media aritmética es indistinto del empleo de la media geométrica cuando se promedian dos diámetros medidos con la forcípula de aluminio y la forcípula de madera.
- En términos de volumen por hectárea, y sobre superficies grandes, las forcípulas subestiman los volúmenes en cantidades comercialmente importantes.
- Se recomienda medir los diámetros del fuste con una cinta métrica de material sintético por su bajo costo, alta durabilidad y fácil transporte.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación para evaluar la reproducibilidad y repetibilidad de los equipos de medición.
- Realizar una investigación para evaluar la precisión y el error en la medición de especies con secciones transversales irregulares del fuste.
- Realizar una investigación para comparar la precisión y el error en la medición a nivel de hectárea.

VII. BIBLIOGRAFÍA

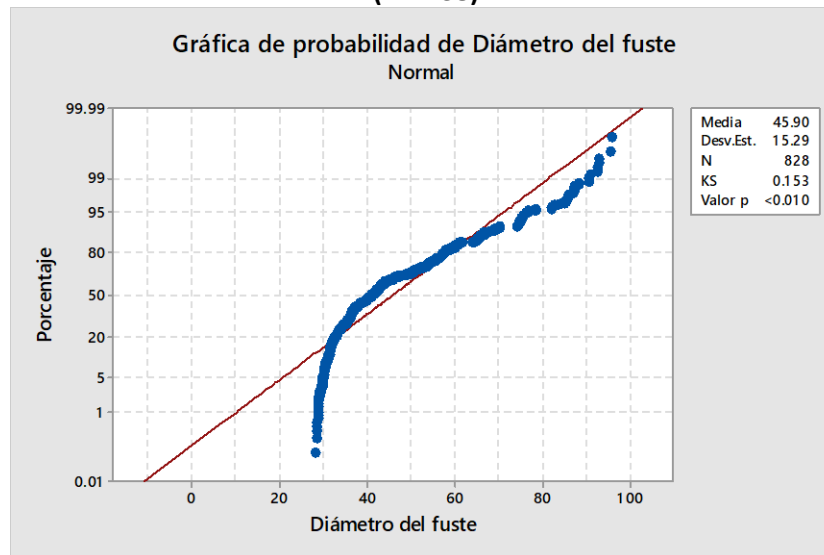
- Angulo, W; Vidaurre, H; Flores, Y; Soudre, M; Ricse, A. 1997. Experiencias silviculturales en la Estación Experimental Alexander von Humboldt, Amazonia peruana. In Experiencias prácticas y prioridades de investigación en silvicultura de bosques naturales en América tropical (1996, Pucallpa, PE). Actas. Eds. C Sabogal; M Camacho, M Guariguata. Turrialba, CR, CIFOR, CATIE, INIA. p.87-96.
- Alder, D; Synnott, TJ. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forests. Oxford, UK, Oxford Forestry Institute. 124p. (Tropical Forestry Papers no. 25).
- Avery, TE; Burkhardt, HE. 1994. Forest measurements. 4 ed. New York, USA, McGraw-Hill. 408p.
- Box, GE; Hunter, JS; Hunter, WG. 2008. Estadística para investigadores. Diseño, innovación y descubrimiento. 2 ed. Barcelona, España, Reverté. 639p.
- Bruce, D; Schumacher, FX. 1965. Medición Forestal. D. F., México. 474 p.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: estimación del volumen. Roma, Italia, FAO. 92p. (Estudio FAO: Montes no.22/1).
- Camacho, AM. 1998. Aspectos conceptuales y prácticos sobre crecimiento de árboles y rodales naturales tropicales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 14(4)p.
- Camacho C, M. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: guía para el establecimiento y medición. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 42).
- Colán, V; Sabogal, C; Snook, L; Boscolo, M; Smith, Y; Galván, O. 2001. El manejo forestal en la Amazonia baja del Perú: diagnóstico e implicancias para la adopción de buenas prácticas. Lima, Perú, CIFOR. 111p
- Corte D, AP; Sanquetta, CR; Oliveira, KA de; Behling, A; Coutinho M, V. 2016. Desempenho de diferentes equipamentos para mensuração de diâmetro a 1,30 m, altura individual total, e volume do fuste em *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don. Enciclopédia Biosfera 13(23): 432-441.
- Costa M, AC da; Miranda V, RO de; Soares V, AA; Ramos de O, L; Azevedo R, HC de; Oliveira F, J de; Souza da S, Jaqueline da. 2018. Compatibilidade de diâmetros de cedro-australiano e mogno

- africano obtidos por diferentes instrumentos. In Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais (VI Simpósio da Agronomia e IV Simpósio da Engenharia Florestal, 2018, Minas Gerais, Brasil).
- Diéguez A, U; Barrio A, M; Castedo D, F; Ruíz G, AD; Álvarez T, MF; Álvarez G, JG; Rojo A, A. 2003. Dendrometría. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 327p.
- Freitas G, A; Wichert P, MC. (1998). Comparação entre instrumentos tradicionais de medição de diâmetro e altura com o criterion 400. Brasil, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 4p.
- Frisk S, T; Dance C, J; Novoa R, L. 1982. Planificación y ejecución de inventarios para el abastecimiento oportuno y económico de las industrias forestales. Lima, Perú, PROYECTO PNUD / FAO / PER / 81 / 002. 70p.
- Husch, B; Miller, CI; Beers, TW. 1982. Forest Mensuration. 3 ed. New York, USA, John Wiley & Sons. 402p.
- INRENA; CIFOR; FONDEBOSQUE. 2004. Planes de manejo en concesiones forestales con fines maderables: lineamientos para su elaboración y formatos de presentación. Lima, Perú. 116p.
- Loetsch, R; Zohrer, F; Haller, KE. 1973. Forest Inventory. 2 ed. Munich, Alemania Federal, BLV. 905p.
- López P, C; Ambrosio T, Y. 2009. Dendrometría gráfica. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 98p.
- López P, C; Marchal N, B. 1991. Dasometría práctica. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 149p.
- Malleux, J. 1982. Inventarios forestales en bosques tropicales. UNALM. Lima, Perú. 414p.
- Mackay Monteverde, E. 1964. Dasometría: teoría y técnica de las mediciones forestales. Madrid, España, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 760p.
- Masías C, VM. 2017. Consideraciones para la medición de diámetros y alturas de árboles vivos de *Polylepis flavipila* (Bitter) M. Kessler & Schmidt-Leb. Tesis Ingeniero Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 49p.
- Montgomery, DC. 2013. Diseño de experimentos. 2 ed. D.F., México, Limusa. 686p.
- Montgomery, DC; Runger, GC. 2013. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. 2 ed. D.F., México, Limusa Wiley. 948p.
- Moya C, R. 2005. Estadística descriptiva. 2 ed. Lima, Perú, Editorial San Marcos. 471p.

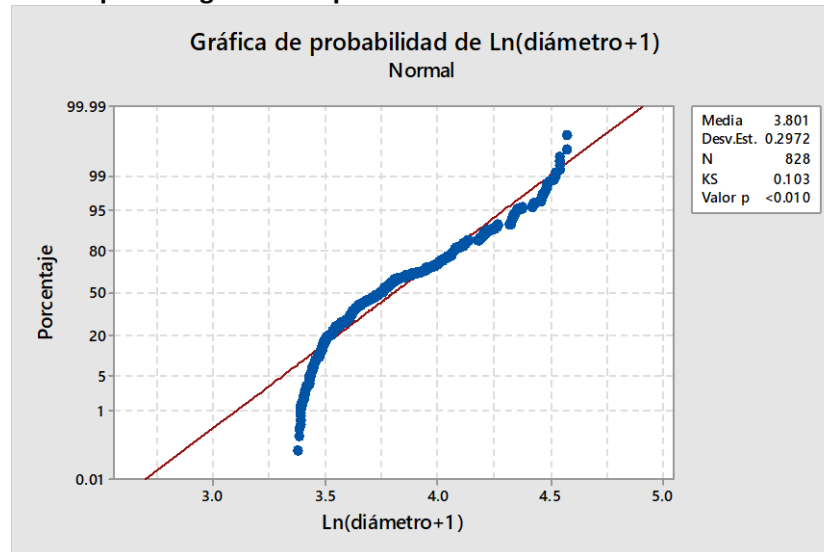
- Pardé, J. 1961. Dendrometrie. Nancy, France, Editions de L'ecole Nationale des Eaux et Forêts. 350p.
- Philip, M S. 1994. Measuring trees and forests. Wallingford, UK, CAB International. 310p.
- Pinelo M, G. 2000. Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la reserva de la Biosfera Maya. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 52 p. (Manejo Forestal en la Reserva de la Biosfera Maya no. 10).
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, CR, IICA, BMZ/GTZ. 561p.
- Romero P, M. 1986. Guía práctica para la elaboración de planes de manejo forestal de bosques húmedos tropicales. Lima, Perú, PROYECTO PNUD / FAO / PER / 81 / 002. 112p.
- Rondeux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Trad. A Diaz de Barrionuevo. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 521p.
- Sabogal, C; Carrera, F; Colán, V; Pokorny, B; Louman, B. 2004. Manual para la planificación y evaluación del manejo forestal operacional en bosques de la Amazonia peruana. Lima, Perú, PROYECTO INRENA-CIFOR-FONDEBOSQUE. 279p.
- Samuels, ML; Witmer, JA; Schaffner, A. 2012. Fundamentos de estadística para las ciencias de la vida. Madrid, España, Pearson. 631p.
- Silva, JN; Lopes, J; Oliveira, L de; Silva, S da; Carvalho, J de; Costa, D; Melo, M; Tavares, M. 2005. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belem, Brasil, CIFOR, ITTO, EMBRAPA. 68p.
- Soares, CPB; Neto, F; Souza, AL. 2010. Dendrometria e inventário florestal. Viçosa, Brasil, Universidad Federal de Viçosa. 276p.
- Sokal, RR; Rohlf, FJ. 2002. Introducción a la bioestadística. Barcelona, España, Reverté. 362p.
- Steel, RG; Torrie, JH. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2 ed. D.F., México, McGraw-Hill. 622p.
- Synnott, T J. 1991. Manual de procedimientos de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Trad. J Valerio. CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103p.
- Wabö, E; Cellini, JM; Martínez Pastur, G; Lencinas, MV. 2007. Comparación entre la exactitud relativa de la forcípula y de la cinta diamétrica en la determinación del DAP, el área basal y el volumen. Quebracho no.14:5-14.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste (n = 138)



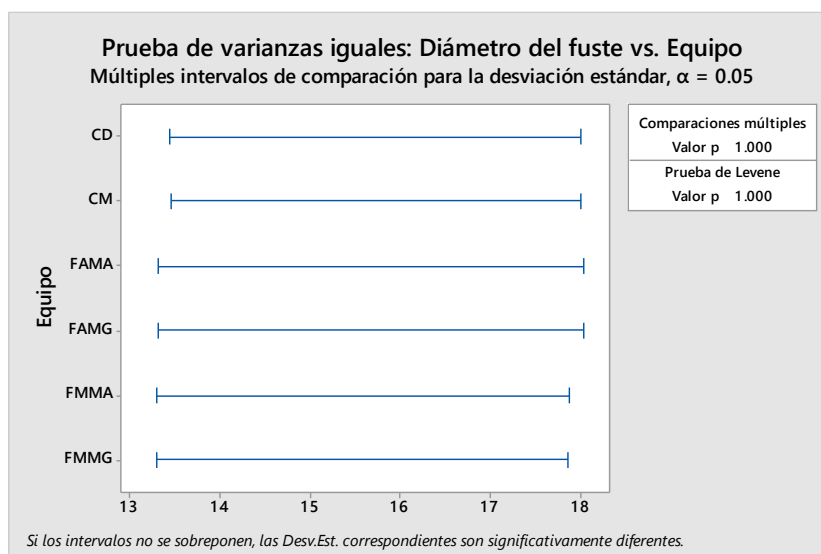
Anexo 2. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste transformado por el logaritmo neperiano del diámetro del fuste más uno (n = 138)



Anexo 3. Prueba de Levene para el análisis de homogeneidad de varianzas del diámetro del fuste (n = 138)

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

	Estadístico	Valor p
Método	de prueba	
Comparaciones múltiples		1.000
Levene	0.01	1.000



Anexo 4. Análisis de varianza, con diseño de bloques al azar (tratamiento = equipo, bloque = árbol) para el diámetro del fuste (n = 138)

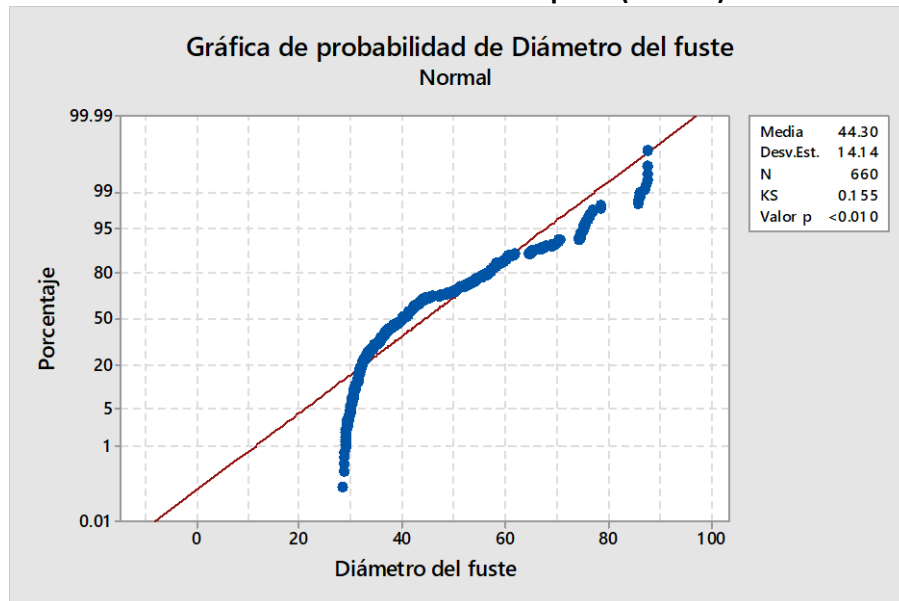
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Equipo	5	232	46.37	114.69	0.000
Árbol	137	192766	1407.05	3479.90	0.000
Error	685	277	0.40		
Total	827	193275			

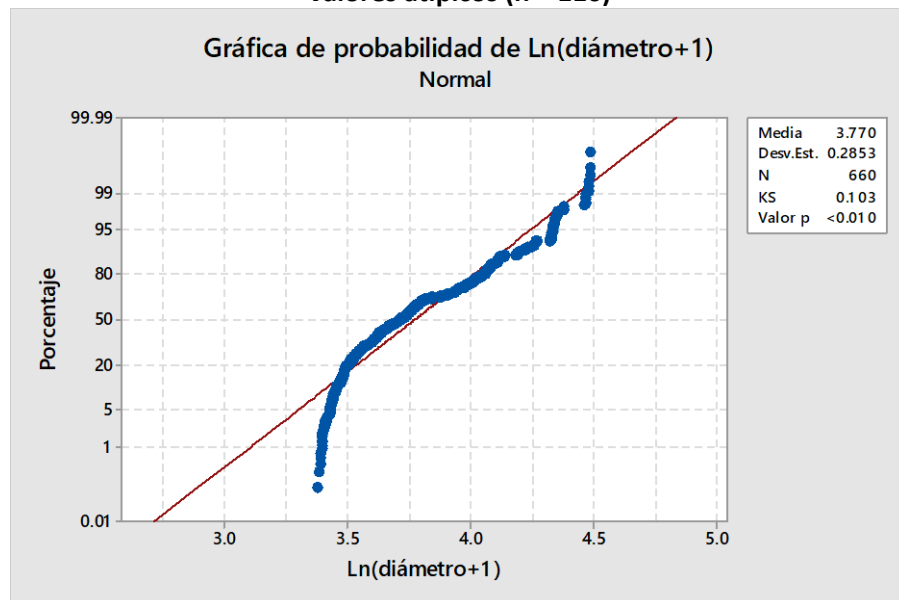
Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.635875	99.86%	99.83%	99.79%

Anexo 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste sin los árboles con valores atípicos (n = 110)



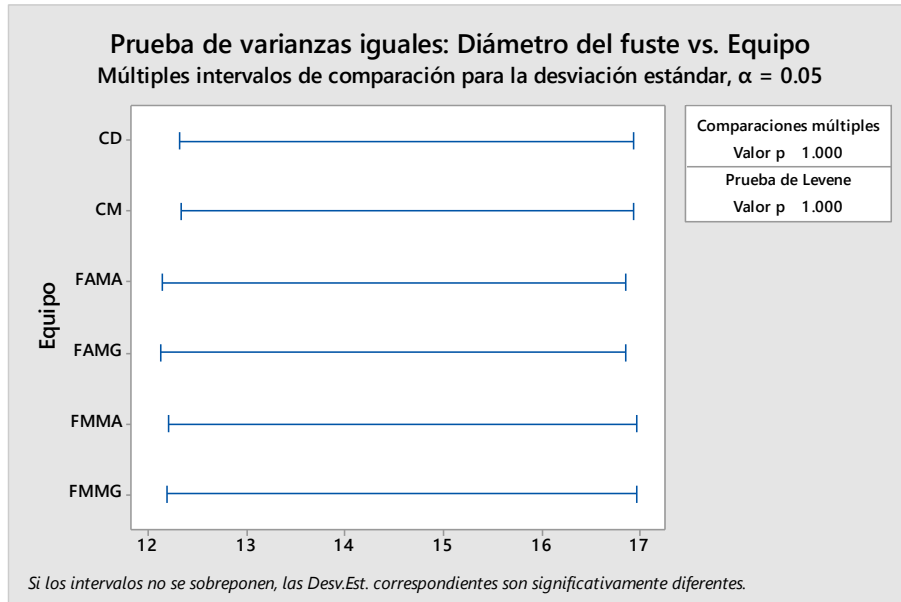
Anexo 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de normalidad del diámetro del fuste transformado por el logaritmo neperiano del diámetro del fuste más uno, sin los árboles con valores atípicos (n = 110)



Anexo 7. Prueba de Levene para el análisis de homogeneidad de varianzas del diámetro del fuste, sin los árboles con valores extremos (n = 110)

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

	Estadístico	
Método	de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples		1.000
Levene	0.01	1.000



Anexo 8. Análisis de varianza, con diseño de bloques al azar (tratamiento = equipo, bloque = árbol) para el diámetro del fuste, exceptuando los árboles con valores extremos (n = 110)

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Equipo	5	163	32.67	165.13	0.000
Árbol	109	131487	1206.30	6096.61	0.000
Error	545	108	0.20		
Total	659	131758			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.444820	99.92%	99.90%	99.88%