UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROFORESTAL ACUICOLA

Coeficiente mórfico de Hohenadl para especies de un bosque primario intervenido de colina baja, Ucayali, Amazonia peruana

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Agroforestal Acuícola

PRESENTADO POR:

Bach. Lia Gissela Ochavano Cumapa

ASESORADO POR

M.Sc. Octavio Galván Gildemeister

Yarinacocha – Perú

2022

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

En el auditorio blanco para la sustentación de la tesis, Campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, ciudad capital de Pucallpa, a 15:00 horas del día dieciocho de enero (en letras), se reunió el Jurado de Tesis presidido por Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo, e integrado por M.Sc. Karen Stephanny Córdova Flores y M.Sc. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada "Coeficiente mórfico de Hohenadl para especies de un bosque primario intervenido de Colina baja, Ucayali, Amazonia Peruana", cuya responsabilidad corresponde a la Bachiller Lia Gissela Ochavano Cumapa 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	24
Miembro	M.Sc. Karen Stephanny Córdova Flores	24
Miembro	M.Sc. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano	Ausente
	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, 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 15:50 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

M.Sc. Karen Stephanny Córdova Flores
Miembro

Ausente
M.Sc. Gumercindo Andrés Castillo Quiliano
Miembro

Nombre Asesor: M.Sc. Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister

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

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CONSTANCIA

N°004 - 2023

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

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

COEFICIENTE MÓRFICO DE HOHENADL PARA ESPECIES DE UN BOSQUE PRIMARIO INTERVENIDO DE COLINA BAJA, UCAYALI, AMAZONIA PERUANA.

Cuyo autor es : **OCHAVANO CUMAPA, LIA GISSELA.**

Facultad : FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Profesional : INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA.

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 12%.

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 está dentro de los límites aceptables de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

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

Fecha: 07/02/2023

UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONÍA - UCAYALI

Dr. Jesús Taylor Dávila Francia
Jefe de la Oficina de Biblioteca Central

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por el esfuerzo que hicieron y los incentivos morales que me transmitieron para terminar mis estudios universitarios.

También a mi hija por ser una fuente constante de motivación para mí.

Finalmente, a mi hermana, por compartir su fraternidad y amistad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor, el M.Sc. Octavio Galván Gildemeister, por su permanente y comprometido asesoramiento en esta investigación, con base en la certeza de que esta tesis, aunque no extensa, si aportará conocimiento funcional y necesario para los usuarios del bosque y las autoridades forestales.

A mi co asesor, el Ing. Erasmo Rosado Orneta, por sus comentarios atinados en cuanto a la utilidad de esta investigación.

A mis colegas y futuros colegas, Jenifer Camargo, Jesús Watanabe, Eli Ustua y Edgar Flores por el impecable trabajo de campo.

ÍNDICE

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Forma del fuste	14
2.2. Cubicación de los árboles	14
2.3. Tipos dendrométricos	14
2.4. Cocientes de forma o coeficientes de decrecimiento	14
2.5. Coeficientes mórficos	16
2.5.1. Coeficientes mórficos referidos a una sección fija	17
2.5.1.1. Coeficientes mórficos referidos a la sección normal	17
a. Coeficiente mórfico del tronco	18
b. Coeficiente mórfico del fuste a la altura total	18
c. Coeficiente mórfico del fuste a la altura del fuste	18
2.5.1.2. Coeficientes mórficos referidos a la sección basal	18
2.5.2. Coeficientes mórficos referidos a una sección relativa	18
2.6. Coeficiente mórfico de Hohenadl	19
2.6.1. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el tronco	19
2.6.2. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste a la altura total	19
2.6.3. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste a la altura del fuste	20
2.7. Volumen del fuste	20
2.8. Cubicación con el empleo de coeficientes de forma	20
2.9. Coeficientes mórficos de especies de la Amazonia peruana	20
2.10. Coeficientes mórficos de Hohenadl	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio	22
3.2. Identificación y descripción del material experimental	22
3.3. Procedimientos	22
3.3.1. En el bosque	22
a. Ubicación de los árboles	22
b. Medición del diámetro normal y de los diámetros cada dos metros del fuste	22
c. Medición de la altura de fuste comercial	23
d. Medición de la altura total	23
e. Medición del diámetro del fuste a un 10 % de la altura total	23
3.3.2. En el gabinete	23
a. Cálculo del volumen del fuste	25
b. Cálculo del volumen del cilindro	25
c. Cálculo del *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso)	25
d. Cálculo del *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (coeficiente verdadero)	25
e. Cálculo del volumen maderable con los coeficientes mórficos por calcular	25
3.4. Variables	25
3.5. Población y muestra	26
3.6. Tratamientos	26
3.7. Recolección de los datos	26
3.7.1. Fuentes de información	26

3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición 26
3.7.3. Tipo de muestreo 27
3.7.4. Técnicas para recolección de datos 27
3.8. Procesamiento de los datos 27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
4.1. Comparación del *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* 28
4.2. Comparación del volumen obtenido con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* con el volumen obtenido con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* 32
V. CONCLUSIONES 39
VI. RECOMENDACIONES 40
VII. BIBLIOGRAFÍA 41
VIII. ANEXOS 43

INDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Ecuaciones por tipos dendrométricos 15

Cuadro 2. Cociente de forma base por tipo dendrométrico 16

Cuadro 3. Estadísticos del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal 29

Cuadro 4. Prueba hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas del coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal 31

Cuadro 5. Análisis de varianza, con diseño de bloques completos al azar, entre el coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal 31

Cuadro 6. Estadísticos del volumen obtenido con el coeficiente mórfico de Hohenadl y con el coeficiente mórfico referido a la sección normal 33

Cuadro 7. Prueba hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas del volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal 35

Cuadro 8. Análisis de varianza, con diseño de bloques completos al azar, entre el volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal 37

Cuadro 9. Diferencias entre los volúmenes de fuste, calculados con el coeficiente mórfico referido a la sección normal y con el coeficiente mórfico de Hohenadl, y los volúmenes de las trozas calculados con la fórmula de Smalian 37

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Forcípula de metal 23

Figura 2. Comparación de las distribuciones de la muestra de árboles del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal 29

Figura 3. Distribuciones de los valores individuales del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal 30

Figura 4. Comparación de las distribuciones de la muestra de árboles del volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal 33

Figura 5. Distribuciones de los valores individuales de los volúmenes calculados con el coeficiente mórfico de Hohenadl y los volúmenes calculados con el coeficiente mórfico referido a la sección normal 34

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de campo

Anexo 2. Inicio de la escalada

Anexo 3. Medición del diámetro del fuste a diferentes alturas

Anexo 4. Medición del diámetro hasta el final de la altura de fuste comercial

RESUMEN

Dados los conflictos, entre los actores directos (concesionarios, comunidades nativas y propietarios de predios) del manejo de los bosques de producción de madera de la Amazonia peruana y las diferentes autoridades administrativas forestales (OSINFOR, SERFOR, autoridades regionales forestales) y no forestales, debido a las inconsistencias en la cuantificación de madera que se registra en los planes operativos; esta investigación propuso evaluar otro procedimiento que figura en los libros de dasometría. El procedimiento, aparentemente, novedoso es el uso del coeficiente mórfico de Hohenadl para el cálculo de madera en fustes comerciales. En un bosque primario aprovechado se emplearon 35 árboles, todos con dimensiones aprovechables para aserrío, y se midieron las alturas de fuste comercial, el diámetro normal del fuste y el diámetro del fuste a un 10 % de la altura total. El volumen del fuste se calculó con la fórmula de Smalian, en secciones de dos metros. Además, se calculó el coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal. Se encontró que la media del coeficiente mórfico de Hohenadl fue 0.90, en tanto que la media del coeficiente mórfico referido a la sección normal fue 0.77. Dado que el primer coeficiente mórfico generó mayores volúmenes, se concluyó que tuvo un mejor desempeño, pues, generalmente, los volúmenes de madera de las trozas superan a los volúmenes de madera de los troncos que se miden durante los censos comerciales.

ABSTRACT

Given the conflicts between the direct actors (concessionaires, native communities and landowners) of the management of the timber production forests of the Peruvian Amazon and the different forestry administrative authorities (OSINFOR, SERFOR, regional forestry authorities) and non-forestry authorities, due to inconsistencies in the quantification of wood that is recorded in the operational plans; this research proposed to evaluate another procedure that appears in the dasometry books. The "novel" procedure was the use of the Hohenadl form factor for calculating wood in commercial stems. In a harvested primary forest, 35 trees were used, all with usable dimensions for sawmilling, and commercial stem heights, normal stem diameter, and stem diameter at 10% of total height were measured. The volume of the stem was calculated with the Smalian formula, in sections of two meters. In addition, the Hohenadl form factor and the form factor referred to the normal section were calculated. It was found that the mean of the Hohenadl form factor was 0.90, while the mean of the form factor referring to the normal section was 0.77. Given that the first form factor generated higher volumes, it was concluded that it had a better performance, since, generally, the volumes of wood in logs exceed the volumes of wood in logs that are measured during commercial censuses.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales húmedos primarios, de la Amazonia peruana, se siguen empleando para la producción, principalmente, de madera; en consecuencia, los productores de madera (concesionarios forestales, comunidades nativas y propietarios de predios privados) tienen la obligación de hacer censos comerciales y/o inventarios forestales para obtener el permiso de extracción

Entre las opciones tecnológicas para la cuantificación de la madera rolliza, se tiene el empleo del coeficiente mórfico, también conocido como factor de forma o factor mórfico (Diéguez *et al*. 2003).

Con respecto a las concesiones forestales con fines maderables, la *Resolución Jefatural N° 109-2003-INRENA*, del año 2003, que aprobó los lineamientos y formatos de los planes generales de manejo forestal y los planes operativos anuales; estipuló (taxativamente) que se debía usar el factor de forma de 0.65. El uso de este factor de forma también está aprobado por la *Resolución de Dirección Ejecutiva N° 046-2016-SERFOR-DE*; la misma que reemplazó a la *Resolución Jefatural N° 109-2003-INRENA*. Por supuesto que el uso del factor de forma de 0.65 crea problemas, dado que los volúmenes de madera señalados en los *planes operativos* no casan con los volúmenes reales que se reconocen en las *guías de transporte*; lo cual después se debe corregir en el *libro de operaciones*.

La problemática, ya descrita, también obstaculiza la planificación de la transformación, comercialización y mercadeo de la madera; pues no se cuenta con los volúmenes precisos de madera que se puede extraer.

Cabe aclarar que, en el Perú, el coeficiente mórfico es un *Coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (o sea, a 1.30 metros del suelo); por lo tanto, está referido a una sección fija. Los *coeficientes mórficos referidos a una sección fija* son los más empleados en el mundo (Diéguez *et al*. 2003), pero tienen la desventaja capital que, en árboles de igual forma, generan coeficientes mórficos distintos y; en árboles con disímil forma pueden generar el mismo coeficiente mórfico (Calliez 1980, Prodan 1997), por esta razón se les conoce como *coeficientes mórficos artificiales* (Diéguez *et al*. 2003, Rondeux 2010) o *coeficientes mórficos falsos* (Diéguez *et al*. 2003).

La alternativa, al problema mencionado en el párrafo anterior, es el uso de los *coeficientes mórficos referidos a una sección relativa* (Calliez 1980, Prodan 1997, Diéguez *et al*. 2003), conocidos como *coeficientes mórficos naturales* o *coeficientes mórficos verdaderos* (Diéguez *et al*. 2003); de los cuales, el más importante es el *coeficiente mórfico de Hohenadl* (Diéguez

et al. 2003). Sin embargo, sobresale el hecho (inaudito) de que no existen estudios sobre el *coeficiente mórfico de Hohenadl* para ninguna especie de la Amazonia peruana.

Las preguntas de investigación que se pretenden responder, serán las siguientes:

¿El *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* es igual al *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*?

¿Los volúmenes de los fustes calculados con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* son iguales a los volúmenes calculados mediante el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*?

Dadas las preguntas de investigación, se proponen dos hipótesis:

El *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* es diferente al *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*.

Los volúmenes de los fustes calculados con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* son diferentes a los volúmenes calculados mediante el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*.

El problema que se resolverá está referido a la aplicación de una nueva tecnología, más precisa, para el cálculo del volumen de los fustes, en el caso de los bosques húmedos tropicales primarios intervenidos, de la Amazonia peruana. También contribuirá a dilucidar sobre el posible uso incorrecto del factor mórfico de 0.65 (aprobado legalmente mediante la *Resolución de Dirección Ejecutiva N° 046-2016-SERFOR-DE*), para cuantificar la madera de árboles aprovechables. Por lo tanto, esta investigación también contribuirá a mejorar la precisión de la estimación del volumen de madera aprovechable, en inventarios forestales y censos comerciales.

Los beneficiarios serán todos los actores del aprovechamiento maderable de los bosques de la Amazonia peruana. Entre estos actores se pueden discriminar, primero, los decisores de políticas, hacedores de normas y administradores del bosque; como la autoridad nacional forestal (SERFOR), el organismo de supervisión forestal (OSINFOR) y las autoridades regionales forestales. Otros beneficiarios serán los diferentes productores de madera, como los concesionarios, comunidades nativas y propietarios de predios privados, así como los inversionistas. Finalmente, se deben incluir a los regentes forestales y otros actores que se dedican a la elaboración, ejecución y supervisión de planes de manejo basados en inventarios forestales y censos comerciales.

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- Determinar el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* para un bosque húmedo tropical primario intervenido, de la Amazonia peruana.

- Comparar los volúmenes de los fustes calculados con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* en contraste con los volúmenes calculados mediante el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Forma del fuste

El volumen del tronco (o fuste) de un árbol depende de su forma. En los bosques existen diferencias entre los troncos, las coníferas, por ejemplo, tienen un fuste céntrico preciso, llamado excurrente, en contraste con las latifoliadas, que tienen sólo tienen un fuste preciso desde la base del tronco hasta la base de la copa, llamado deliquescente (Prodan *et al*. 1997). Por consiguiente, se puede afirmar que todas las especies tienen una forma fustal característica, pero que también depende del sitio y de la densidad del rodal (Prodan *et al*. 1997). Por ejemplo, es notable la diferencia en la forma fustal de los individuos de *Calophyllum brasiliensis* de los bosques de terrazas bajas y medias con respecto a los individuos de los bosques de colinas bajas; también las diferencias entre los individuos de *Handroanthus serratifolius* del bosque húmedo tropical de la Amazonia con respecto a los individuos del bosque seco tropical de la costa peruana.

2.2. Cubicación de los árboles

Cubicar un árbol significa calcular el volumen de su fuste (López y Ambrosio 2006), para lo cual se debe conocer la forma de ese fuste (Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010).

Diéguez *et al*. (2003) menciona que existen tres (de varias) metodologías para describir la forma del fuste de los árboles:

- La asociación del fuste a figuras geométricas simples, conocidas como *tipos dendrométricos*.
- El cálculo de los *cocientes de forma* y *coeficientes mórficos*, que comparan el volumen del fuste con el de un cilindro y examinan cuanto disminuye el diámetro del fuste de manera inversa con la altura.
- La determinación de las funciones de perfil o ecuaciones matemáticas que relacionan el diámetro con la altura.

2.3. Tipos dendrométricos

Un *sólido de revolución*, en particular, puede asemejarse a un fuste en su conjunto o en alguna parte del mismo (Diéguez *et al*. 2003), de esta manera obtienen la denominación de *tipos dendrométricos* (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006); en consecuencia, el volumen del fuste se acerca al volumen de un *tipo dendrométrico* o *sólido de revolución* (Rondeaux 2010).

Un *sólido de revolución* se forma debido al giro de una curva plana, cuya función general es $y^2 = p.x^n$ (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010); donde el eje *x* es la altura del fuste y el eje *y* el radio del fuste a una altura *x* (Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010).

Los *sólidos de revolución* son el *cilindro*, el *paraboloide*, el *cono* y el *neloide* (también conocido como *neiloide* o *paraboloide de Neile*); dependiendo del valor de *n*, que puede ser 0, 1, 2 y 3; respectivamente (Cuadro 1); con ecuaciones desiguales por *tipo dendrométrico* (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006 y Rondeaux 2010).

Los *tipos dendrométricos* establecen que árboles con medidas parecidas generen volúmenes diferentes (López y Ambrosio 2006). Un aspecto muy importante a tener en cuenta es que las diferentes partes de un fuste se pueden asemejar *tipos dendrométricos* disímiles (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006) o sólidos geométricos (Rondeaux 2010). Prodan *et al*. (1997) afirma que, en un fuste, la forma de la base se puede equiparar a un *tronco de neiloide*, la parte media se puede equiparar a un tronco de paraboloide y la parte superior se puede equiparar a un cono. Lo mencionado anteriormente señala que la cubicación perfecta de un fuste es una labor imposible.

Diéguez *et al*. (2003) hace notar que los *tipos dendrométricos* poseen dos contrariedades:

- El perfil real de un árbol no se puede fijar un solo *tipo dendrométrico*.
- No se puede identificar la ubicación en donde el fuste pasa de un tipo dendrométrico a otro.

Cuadro 1. Ecuaciones por tipos dendrométricos

Tipo dendrométrico	n	Ecuación
Cilindro	0	$y^2 = p$
Paraboloide	1	$y^2 = p \, . \, x$
Cono	2	$y^2 = p \, . \, x^2$
Neiloide	3	$y^2 = p \, . \, x^3$

2.4. Cocientes de forma o coeficientes de decrecimiento

Un *cociente de forma* es la división entre dos diámetros, ubicados a desiguales alturas del fuste (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010); donde el diámetro de referencia es el que está a una altura inferior (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006). Es importante señalar que el diámetro de referencia se mide a una altura fija o a una altura relativa; en este último caso, a una altura que corresponde con un porcentaje de la altura total o de la altura del fuste (Diéguez *et al*.

2003). Hay varios cocientes de forma, pero los más utilizados son el *cociente de forma normal* y el *cociente de forma base* (López y Ambrosio 2006).

El *cociente de forma normal* (q_n) es el cociente entre el diámetro a mitad de la altura total del árbol y el diámetro normal (López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010) o también el cociente entre las circunferencias respectivas (Rondeaux 2010).

$$q_n = \frac{d_{h/2}}{d_n}$$

$$q_n = \frac{C_{h/2}}{C_n}$$

El *cociente de forma base* (q_b) es el cociente entre el diámetro a mitad de la altura total del árbol y el diámetro en la base del fuste (López y Ambrosio 2006).

$$q_b = \frac{d_{h/2}}{d_b}$$

López y Ambrosio (2006) consideran que el *cociente de forma base* encarna adecuadamente la forma de los fustes (Cuadro 2) en relación con los *tipos dendrométricos*.

Además, se puede mencionar al *cociente de forma de Hohenadl*, un cociente de forma creado con base en el diámetro medido a una altura igual al 90 % de la altura total (Rondeaux 2010).

$$q_H = \frac{d_n}{d_{0.9\,h}}$$

Cuadro 2. Cociente de forma base por tipo dendrométrico

Cociente de forma base	Tipo dendrométrico
$q_B \geq 0.85$	Cilindro
$0.85 > q_B \geq 0.70$	Paraboloide
$0.70 > q_B \geq 0.50$	Cono
$0.50 > q_B \geq 0.35$	Neiloide

2.5. Coeficientes mórficos

Existen varias denominaciones para referirse al resultado del cociente que a continuación se va a describir: *coeficiente mórfico* (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010), *factor de forma* (Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003) y *factor mórfico*

(Cailliez 1980). Un *coeficiente mórfico* sirve para calcular el volumen de un fuste (Diéguez *et al*. 2003). Para los árboles de una misma especie y clase diamétrica, se puede generar un promedio, el mismo que se puede emplear para facilitar el cálculo de los volúmenes de los árboles de aquella especie y clase diamétrica (Diéguez *et al*. 2003).

El *coeficiente mórfico* (*f*) es un cociente entre el volumen real de un fuste, hasta una altura explícita, y el volumen de un cilindro; cuya base es la sección del fuste a una altura determinada y su longitud igual a la altura del fuste (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010); y se denota por la letra f.

$$f = \frac{Volumen\ real\ del\ fuste}{Volumen\ del\ cilindro}$$

En consecuencia, un coeficiente mórfico es un factor de reducción (Prodan 1997, Rondeaux 2010).

Los coeficientes mórficos se clasifican considerando la sección que se elige para calcular el volumen del cilindro de referencia o considerando la altura del cilindro (Diéguez *et al*. 2003), los mismos que se van a describir a continuación y con base en la clasificación de Diéguez *et al*. (2003).

2.5.1. Coeficientes mórficos referidos a una sección fija

La sección es predeterminada, generalmente se trata de la sección normal o la sección de la base del fuste (Diéguez *et al*. 2003), razón por la cual se les conoce como *coeficientes mórficos artificiales* (Prodan 1997, Rondeaux 2010) o *coeficientes mórficos falsos* (Prodan 1997).

a. Coeficientes mórficos referidos a la sección normal

Son los coeficientes que emplean como cilindro aquel cuyo diámetro, de su sección, es el diámetro normal (o sea el diámetro a 1.30 metros, *diámetro a la altura del pecho* o dap). Dependiendo de la longitud (la altura) del cilindro (Diéguez *et al*. 2003), pueden ser:

Coeficiente mórfico del tronco

Es el cociente del volumen del tronco (que incluye la parte comercial y no comercial), con corteza, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro normal y cuya altura es la altura total del árbol (Diéguez *et al*. 2003).

$$f_{normal\ tronco\ h\ total} = \frac{volumen\ del\ tronco}{\frac{\pi}{4} \times dap^2 \times altura\ total}$$

Coeficiente mórfico del fuste a la altura total

Es el cociente del volumen maderable del fuste, con corteza, hasta un determinado diámetro, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro normal y cuya altura es la altura total del árbol (Philip 1994, Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010).

$$f_{normal\ fuste\ h\ total} = \frac{volumen\ del\ fuste}{\frac{\pi}{4} \times dap^2 \times altura\ total}$$

Coeficiente mórfico del fuste a la altura del fuste

Es el cociente del volumen maderable del fuste, con corteza, hasta un determinado diámetro, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro normal y cuya altura es la altura del fuste del árbol (Prodan 1997, Philip 1994, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010). Rondeaux (2010) afirma que es el más empleado.

$$f_{normal\ fuste\ h\ fuste} = \frac{volumen\ del\ fuste}{\frac{\pi}{4} \times dap^2 \times altura\ del\ fuste}$$

b. Coeficientes mórficos referidos a la sección basal

Son los coeficientes que emplean como cilindro aquel cuyo diámetro, de su sección, es el diámetro basal, o sea el diámetro en la base del fuste. El más empleado es el *coeficiente mórfico absoluto*, el mismo que se calcula mediante el cociente del volumen del tronco, con corteza, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro basal y cuya altura es la altura total del árbol.

$$f_{absoluto} = \frac{volumen\ del\ tronco}{\frac{\pi}{4} \times d_{basal}^2 \times altura\ total}$$

2.5.2. Coeficientes mórficos referidos a una sección relativa

El *coeficiente mórfico a la altura normal* no expresa adecuadamente la forma de un fuste (Cailliez 1980) pues, al igual que todos los *coeficientes mórficos referidos a secciones fijas*, produce que árboles con formas similares puedan poseer coeficientes mórficos distintos; e inversamente, árboles con formas distintas pueden poseer el mismo coeficiente mórfico (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003).

El problema, antes mencionado, no sucede con los *coeficientes mórficos referidos a una sección relativa* (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003), conocidos como *coeficientes mórficos*

naturales (Diéguez *et al*. 2003), *coeficientes mórficos verdaderos* (Prodan 1997, Diéguez *et al*. 2003) o *coeficientes mórficos reales* (Prodan 1997); los mismos que, para el cálculo del volumen del cilindro, emplean un diámetro que no está a una altura predeterminada, sino a una altura que es un porcentaje de la altura total o de la altura del fuste (Diéguez *et al*. 2003).

Prodan (1997) menciona que los *coeficientes mórficos verdaderos* expresan la forma del árbol.

Diéguez *et al*. (2003) consideran que estos coeficientes mórficos son difíciles de calcular, dada la dificultad para medir el diámetro a una altura relativa; empero, actualmente, se cuenta con equipos que utilizan la tecnología láser siendo más sencillos y precisos que los equipos que emplean tecnología óptica (como el *pentaprisma de Wheeler* o el *relascopio de Bitterlich*).

2.6. Coeficiente mórfico de Hohenadl

Es el más importante de los *coeficientes mórficos referidos a una sección relativa*, que emplea, como diámetro del cilindro, el diámetro del árbol a un 10 % de su altura total (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003). Se le conoce como *coeficiente natural de la forma del fuste* (Cailliez 1980) o *coeficiente mórfico verdadero o real* (Prodan 1997).

2.6.1. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el tronco

Es el cociente del volumen del tronco, con corteza, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro del tronco a un 10 % de la altura total y cuya altura es la altura total del árbol (Diéguez *et al*. 2003).

$$f_{Hohenadl\ tronco\ h\ total} = \frac{volumen\ del\ tronco}{\frac{\pi}{4} \times d^2_{0.1\,h} \times altura\ total}$$

2.6.2. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste a la altura total

Es el cociente del volumen maderable del fuste, con corteza, hasta un determinado diámetro, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro del tronco a un 10 % de la altura total y cuya altura es la altura total del árbol (Diéguez *et al*. 2003).

$$f_{Hohenadl\ fuste\ h\ total} = \frac{volumen\ del\ fuste}{\frac{\pi}{4} \times d^2_{0.1\,h} \times altura\ total}$$

2.6.3. Coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste a la altura del fuste

Es el cociente del volumen maderable del fuste, con corteza, hasta un determinado diámetro, y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro del tronco a un 10 % de la altura total y cuya altura es la altura del fuste (Prodan 1997, Diéguez *et al*. 2003).

$$f_{Hohenadl\ fuste\ h\ fuste} = \frac{volumen\ del\ fuste}{\frac{\pi}{4} \times d^2_{0.1\,h} \times altura\ del\ fuste}$$

2.7. Volumen del fuste

Para la medición del volumen o cubicación se parte de algunas hipótesis sobre la forma de los fustes, al considerar que son sólidos de revolución, que sus ejes son sensiblemente rectilíneos y que sus secciones son sensiblemente circulares (López y Ambrosio 2006).

Los volúmenes de los fustes se pueden medir estando los árboles en pie o estando apeados (Diéguez *et al*. 2003).

Los árboles se pueden cubicar en pie, empleándose el *relascopio de Bitterlich* o el *pentaprisma de Wheeler*, con un hipsómetro *Suunto* adosado en su extremo (López y Marchal 1991); para medir los diámetros y la altura; aunque, actualmente, existen equipos más precisos y sencillos de emplear.

2.8. Cubicación con el empleo de coeficientes de forma

Rondeaux (2010) asevera que, mediante un coeficiente mórfico, el volumen de un fuste se calcula mediante la reducción del volumen de un cilindro por efecto del coeficiente mórfico.

$$V = \frac{\pi \times d_n^2}{4} \times H \times f = \frac{c^2}{4 \times \pi} \times H \times f$$

2.9. Coeficientes mórficos de especies de la Amazonia peruana

Para el cálculo del volumen de madera de los árboles, en los censos comerciales y/o en los inventarios forestales; en bosques de la Amazonia peruana, es común el empleo de los coeficientes mórficos de 0.65 o 0.70. Pero el uso de un coeficiente mórfico para todas las especies de un bosque en particular es una decisión desacertada.

Se cuenta con estudios para fijar coeficientes mórficos por especie y, de este modo, optimizar el cálculo de los volúmenes de madera. Un estudio pionero fue el de Ojeda (2000), quien determina coeficientes mórficos por grupos de especies, en este caso por familia botánica.

Así, Ojeda (2000) fija un coeficiente mórfico de 0.531 para la familia lauraceae, 0.603 para la familia myristicaceae, 0.614 para la familia Lecythidaceae, 0.640 para la familia Moraceae, 0.675 para la familia Sapotaceae y 0.714 para la familia Leguminosae; pero específicamente para la localidad de Nauta, en Loreto.

Sin embargo, los coeficientes mórficos que se están fijando son aquellos referidos a una sección fija (o sea, se trata de *coeficientes mórficos falsos*). No se cuenta con investigaciones para determinar *coeficientes mórficos verdaderos*.

Se tiene los coeficientes mórficos referidos a una sección fija (o *coeficientes mórficos falsos*) para *Dipteryx micrantha* (shihuahuaco) fijado en 0.79, en la provincia de Tahuamanu, Región Madre de Dios (Ovalle 2008). Para *Manilkara bidentata* (quinilla colorada), también en la provincia de Tahuamanu, fijado en 0.82 (Estremadoyro 2014). Figueroa (2018) reporta un coeficiente mórfico de 0.75 para *Caryocar amygdaliforme* (Almendro) en los distritos de Tahuanía y Masisea, región Ucayali. Rojas (2021) presenta coeficientes mórficos de 0.61 y 0.71 para *Allantoma decandra* y *Brosimum utile*; respectivamente, en la Comunidad Nativa Santa Rosa, distrito Padre Abad, Región Ucayali. Jara y Fernández (2019) reportan coeficientes mórficos de 0.73, 0.75 y 0,80 para *Myroxylon balsamum*, *Hymenaea oblongifolia* y *Dipteryx odorata*; respectivamente, también en la provincia de Tahuamanu.

2.10. Coeficientes mórficos de Hohenadl

No existe ningún estudio sobre la determinación de los coeficientes mórficos de Hohenadl para especies forestales de la Amazonia peruana.

En bosques puros de *Pinus montezumae*, en Michoacán, México, bajo un clima templado húmedo tomando como muestra árboles con fustes rectos y sanos; de todas las categorías diamétricas, García *et al*. (2013) hallaron un *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* de 0.601 y un *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* de 0.639.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en un bosque primario intervenido, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria, que se ubica en la *Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt*, distrito Alexander von Humboldt, provincia Padre Abad, región Ucayali.

El bosque se caracteriza por un relieve de colinas bajas, temperatura media anual de 27 °C (máxima de 31°C y mínima de 21°C), humedad relativa media de 75 % y precipitación media anual de 3600 mm (Angulo *et al.* 1997).

3.2. Identificación y descripción del material experimental

El material experimental fueron los árboles con dimensiones aprovechables de la *Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt*.

3.3. Procedimientos

3.3.1. En el bosque

a. Ubicación de los árboles

Se realizó un recorrido por el bosque y se midieron los árboles que se hallaron y que tuvieron las medidas que los señalen como árboles aprovechables; indistintamente de la especie.

b. Medición del diámetro normal y de los diámetros cada dos metros del fuste

Se midieron varios diámetros del fuste en cada árbol. El primer diámetro fue el diámetro normal, o sea, el diámetro a 1.30 metros del suelo, conocido como *diámetro a la altura del pecho* o dap. Se consideró que el dap fue igual al diámetro de la base del fuste.

Los siguientes diámetros fueron a los dos, cuatro, seis, ocho, diez, doce metros; sucesivamente, hasta llegar al punto en el que el fuste tuvo un diámetro comercial mínimo para la producción de tablas.

Todos los diámetros se midieron con una forcípula de aluminio (Figura 1).

La medición de los diámetros la realizó una persona especializada en subir árboles, con subidores de púas y cinturón de seguridad. El subidor llevó el extremo de una cinta métrica de plástico para ubicar las alturas donde midió los diámetros con la forcípula de aluminio.



Figura 1. Forcípula de metal

c. Medición de la altura de fuste comercial

Como ya se mencionó en el acápite anterior, el subidor midió la altura de fuste comercial con una cinta métrica de plástico, mediante un procedimiento conocido como medición de altura *por escalada* (Diéguez *et al*. 2003). La altura del fuste se medió hasta donde el fuste tuvo un diámetro mínimo de 40 cm.

d. Medición de la altura total

La altura total fue la longitud desde el nivel del suelo, hasta el ápice de la copa, pero siguiendo el eje del fuste. La altura total de los árboles se midió con un hipsómetro *TRUPULSE 200*, que emplea tecnología láser.

e. Medición del diámetro del fuste a un 10 % de la altura total

Luego de medir la altura total de cada árbol, se procedió a calcular cual es la altura que corresponde al 10 % de aquella altura total, para indicarle al subidor a que altura debía medir ese diámetro del fuste (también con la forcípula de aluminio).

3.3.2. En el gabinete

a. Cálculo del volumen del fuste

El volumen del fuste se calculó mediante la sumatoria de los volúmenes de cada división o sección, los mismos que se calcularon con la fórmula de cubicación de Smalian, para lo cual se empleó los diámetros que se midieron cada dos metros. Al respecto, cabe mencionar que el cálculo del volumen del fuste comercial se hizo mediante trozas de dos metros porque es una longitud que, según Rojas (2021), no tiene diferencias con trozas de un metro de largo. Asimismo, se empleó la fórmula de cubicación de Smalian porque Honorio (2021) no halló diferencias entre esta y las fórmulas de cubicación de Huber y Newton.

Entonces el cálculo del volumen de las secciones del fuste con la fórmula de Smalian se realizó con la fórmula que se muestra a continuación y que señala la bibliografía especializada (Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010).

$$\text{Volumen de la sección} = \frac{S_i + S_f}{2} \times L = \frac{\pi}{8} \times \left(d_i{}^2 + d_2{}^2\right) \times L$$

Donde:

S_i = superficie del primer extremo de la sección del fuste (en m^2)

S_f = superficie del segundo extremo de la sección del fuste (en m^2)

d_i = diámetro del primer extremo de la sección del fuste (en m)

d_f = diámetro del segundo extremo de la sección del fuste (en m)

π = 3.1416

L = longitud de la sección

Entonces, el volumen del fuste será:

$$Volumen\ del\ fuste = \sum_{sección\ i=1}^{sección\ i=n} \left(\frac{S_i + S_f}{2}\right) \times L_i$$

b. Cálculo del volumen del cilindro

El volumen del cilindro, para cada árbol, se calculó de dos maneras:

Para calcular el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*.

$$\text{Volumen del cilindro} = \frac{\pi \times dap^2 \times L}{4}$$

Para calcular el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste*.

$$\text{Volumen del cilindro} = \frac{\pi \times d_{0.1\,ht}^2 \times L}{4}$$

Donde:

π = 3.1416

$d^2_{0.1\ ht}$ = diámetro del fuste al 10 % de la altura total del árbol.

dap = diámetro a la altura del pecho

L = longitud del fuste (en m).

c. Cálculo del *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso)

Se calculó de la siguiente manera:

$$f_{normal\ fuste\ h\ fuste} = \frac{Volumen\ del\ fuste}{Volumen\ del\ cilindro\ con\ base\ en\ el\ dap}$$

d. Cálculo del *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (coeficiente verdadero)

Se calculó de la siguiente manera:

$$f_{hohenadl\ fuste\ h\ fuste} = \frac{Volumen\ del\ fuste}{Volumen\ del\ cilindro\ con\ base\ en\ d\ al\ 10\ \%\ de\ h}$$

e. Cálculo del volumen maderable con los coeficientes mórficos por calcular

Para cada árbol se calculó el volumen empleándose los dos coeficientes mórficos.

$$Volumen\ maderable\ 1 = \frac{\pi \times\ dap^2}{40000} \times h_{fuste}\ \times f_{normal\ fuste\ h\ fuste}$$

$$Volumen\ maderable\ 2 = \frac{\pi \times\ dap^2}{40000} \times h_{fuste}\ \times f_{hohendadl\ fuste\ h\ fuste}$$

3.4. Variables

En este estudio se analizó cuatro variables y se comparó la primera con la segunda y la tercera con la cuarta.

- El *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso).
- El *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (coeficiente verdadero).
- El volumen maderable calculado con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso).

- El volumen maderable calculado con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (coeficiente verdadero).

3.5. Población y muestra

Este acápite no fue pertinente con esta investigación. Sin embargo, cabe precisar que, para comparar las variables antes señaladas, se midieron 35 árboles para brindar un número de repeticiones que permitió realizar análisis estadísticos robustos.

3.6. Tratamientos

Hubo dos pares de tratamientos.

Primer par:

- El *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso).

- El *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (coeficiente verdadero).

Segundo par:

- El volumen maderable calculado con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (coeficiente falso).

- El volumen maderable calculado con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* para el fuste a la altura del fuste (coeficiente verdadero).

3.7. Recolección de los datos

3.7.1. Fuentes de información

La fuente información fue primaria, porque los datos se obtuvieron mediante mediciones.

3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición.

La unidad experimental fue cada fuste, las misma que casó con la unidad de medición.

3.7.3. Tipo de muestreo

No se realizó ningún muestreo, pues sólo se empleó una cantidad necesaria de árboles como repeticiones para los análisis estadísticos.

3.7.4. Técnica para recolección de datos

Los datos que se obtuvieron del bosque se anotaron en formatos físicos de campo (Anexo 1).

3.8. Procesamiento de los datos

Los análisis se realizaron por cada árbol. Se obtuvieron estadísticos de tendencia central (media aritmética y mediana) y de variabilidad (rango, desviación estándar y coeficiente de variabilidad). Los tratamientos se compararon mediante una prueba de diferencia de medias pareadas. Antes se probó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación del *coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*

La comparación *del coeficiente mórfico de Hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* (en adelante el coeficiente mórfico de Hohenadl) con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* (en adelante el coeficiente mórfico referido a la sección normal) representa la comparación de un coeficiente mórfico referido a una sección relativa con un coeficiente mórfico referido a una sección fija.

Los estadísticos de tendencia central (media y mediana) y de posición (primer y tercer cuartil) indicaron que el coeficiente mórfico de Hohenadl tuvo un valor mayor que el coeficiente mórfico referido a la sección normal (Cuadro 3). Con respecto al valor medio del coeficiente mórfico referido a la sección normal, el coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor en casi 17 %.

No obstante, el coeficiente mórfico de Hohenadl mostró una menor variabilidad, en términos de desviación estándar y del coeficiente de variación.

Además, si se asume que el error estándar expresa la precisión de un valor, entonces se reportó que con el coeficiente mórfico de Hohenadl la precisión (0.01) fue ligeramente menor que la precisión (0.02) para el caso del coeficiente mórfico referido a la sección normal.

Gráficamente (Figura 2) se observa que la mediana del coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor que el coeficiente mórfico referido a la sección normal. Por lo tanto, se puede afirmar que, para el bosque primario intervenido, de la *Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt* (distrito Alexander von Humboldt, provincia Padre Abad, región Ucayali); con base en la estadística descriptiva, este estudio halló que, inobjetablemente, el coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor que el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

La dispersión de valores de los coeficientes mórficos, con respecto a las medias correspondientes, es un efecto de la variabilidad de las mismas entre los árboles (Figura 3).

Cuadro 3. Estadísticos del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal.

	Coeficiente mórfico de Hohenadl	Coeficiente mórfico referido a la sección normal
Media	0.90	0.77
Mediana	0.91	0.77
Primer cuartil	0.85	0.71
Tercer cuartil	0.95	0.84
Mínimo	0.69	0.50
Máximo	1.10	0.94
Desviación estándar	0.08	0.11
Coeficiente de variación	8.78	13.84
Error estándar	0.0134	0.0179

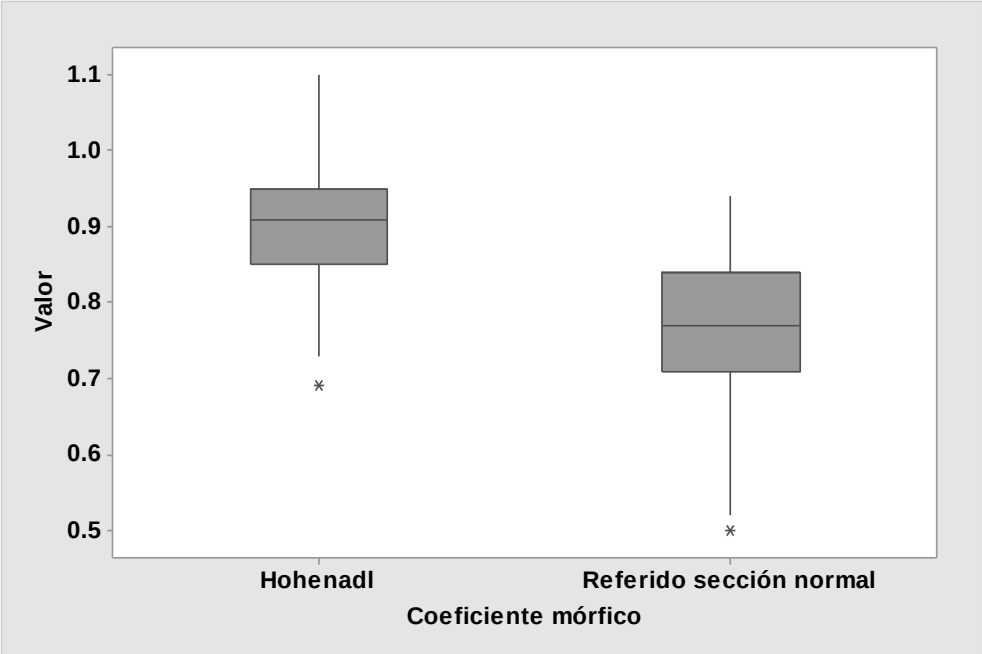


Figura 2. Comparación de las distribuciones de la muestra de árboles del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal.

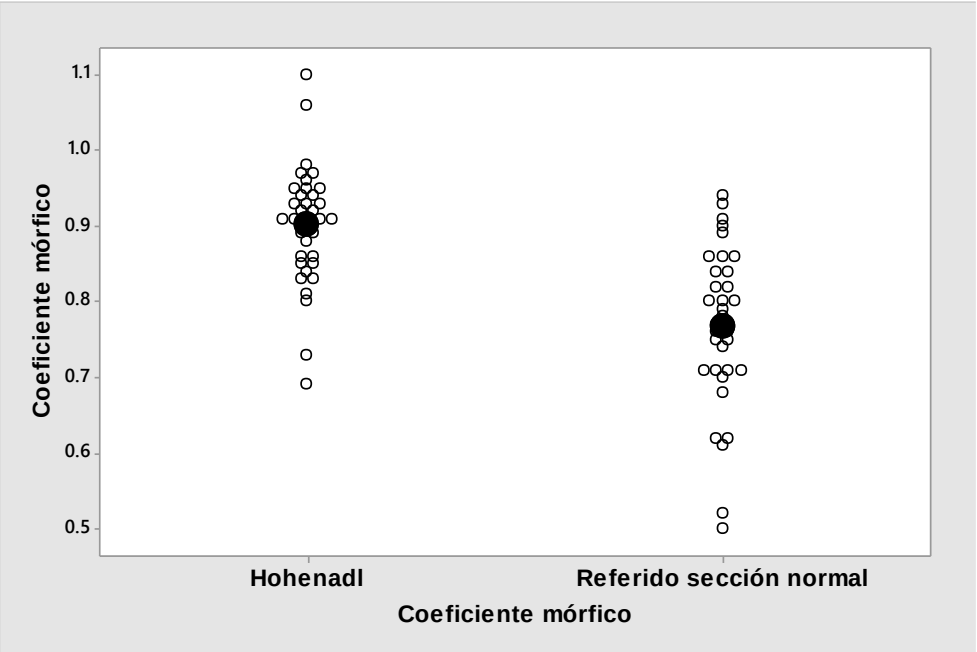


Figura 3. Distribuciones de los valores individuales del coeficiente mórfico de Hohenadl y del coeficiente mórfico referido a la sección normal.

Para probar las diferencias entre el coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal se realizaron tres análisis inferenciales: un intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos poblaciones relacionadas o pareadas, una prueba de hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas y un análisis de varianza con diseño de bloques completos al azar (con los coeficientes mórficos como tratamientos y los árboles como bloques).

El intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos poblaciones relacionadas o pareadas, con un 95 % de confianza, estuvo entre 0.1003 y 0.1700; el cual, al no incluir el cero en el intervalo, permitió afirmar que hubo diferencias significativas entre las medias.

La prueba de hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas (Cuadro 4), con un nivel de significancia de 0.05, generó un estadístico de prueba *t* de 7.89, correspondiente con un valor de probabilidad significativa de 0.000; la misma que significó que no se pudo aceptar la hipótesis nula de igualdad de medias.

Finalmente, el análisis de varianza (Cuadro 5), con diseño de bloques completos al azar (con los coeficientes mórficos como tratamientos y los árboles como bloques) tuvo un valor de probabilidad de 0.000 para el coeficiente mórfico y un valor de probabilidad de 0.006 para los árboles; de lo cual se colige que hubo diferencias entre ambos coeficientes mórficos. Asimismo, el análisis de varianza tuvo un valor R^2 de 80.91 %, el mismo que mostró que el modelo explicó 80.91 % de la varianza del coeficiente mórfico, lo que indicó que el modelo se

ajustó adecuadamente a los datos. El alto valor de la suma de cuadrados de la fuente de variabilidad árboles señaló que fue un acierto considerar a los árboles como bloques y, por consiguiente, fue un acierto la selección del diseño experimental.

Las tres pruebas inferenciales fueron consistentes con el análisis descriptivo y corroboraron las diferencias entre los dos coeficientes mórficos, lo cual es también consistente con las afirmaciones de Cailliez (1980), Prodan (1997), Diéguez *et al*. (2003) y Rondeaux (2010) en el sentido de que los coeficientes mórficos referidos a una sección fija (conocidos como *coeficientes mórficos artificiales* o *coeficientes mórficos falsos*) son diferentes de los *coeficientes mórficos referidos a una sección relativa* (conocidos como *coeficientes mórficos naturales* o *coeficientes mórficos verdaderos*).

Cuadro 4. Prueba hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas del coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal

	n	Media	Desviación estándar	Error estándar
Coeficiente mórfico de Hohenadl	35	0.9017	0.0792	0.0134
Coeficiente mórfico referido a la sección normal	35	0.7666	0.1061	0.0179
Diferencia	35	0.1351	0.1014	0.0171

Cuadro 5. Análisis de varianza, con diseño de bloques completos al azar, entre el coeficiente mórfico de Hohenadl y el coeficiente mórfico referido a la sección normal

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Coeficiente mórfico	1	0.3196	0.319613	62.19	0.000
Árbol	34	0.4211	0.012387	2.41	0.006
Error	34	0.1747	0.005139		
Total	69	0.9155			

4.2. Comparación del volumen obtenido con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* con el volumen obtenido con el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*

Dado que, tal como ya se expuso en el acápite 4.1., el coeficiente mórfico de Hohenadl tuvo un valor mayor que el coeficiente mórfico referido a la sección normal; entonces los estadísticos de tendencia central (media y mediana) y de posición (primer y tercer cuartil) indicaron que el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico de Hohenadl tuvo un valor mayor que el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico referido a la sección normal (Cuadro 6). En este caso, y con respecto al valor medio del coeficiente mórfico referido a la sección normal, el coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor en un 20 %.

Al contrario de lo que sucedió con la variable coeficiente mórfico, el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico de Hohenadl mostró una mayor variabilidad, en términos de desviación estándar y del coeficiente de variación.

Nuevamente, al contrario de lo que sucedió con la variable coeficiente mórfico, el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico de Hohenadl reportó una precisión (0.293) ligeramente mayor que la precisión (0.221) para el caso del coeficiente mórfico referido a la sección normal.

Gráficamente (Figura 4) se encontró que la mediana del volumen que se calculó con el coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor que el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico referido a la sección normal. Por consiguiente, para el bosque primario intervenido de la *Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt* (distrito Alexander von Humboldt, provincia Padre Abad, región Ucayali); se puede afirmar que la estadística descriptiva encontró que, indudablemente, el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico de Hohenadl fue mayor que el volumen que se calculó con el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

El esparcimiento de los valores de los volúmenes, con respecto a las medias correspondientes, también fue un efecto de la variabilidad de las dimensiones entre los árboles (Figura 5).

Cuadro 6. Estadísticos del volumen obtenido con el coeficiente mórfico de Hohenadl y con el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

	Volumen con el coeficiente mórfico de Hohenadl	Volumen con el coeficiente mórfico referido a la sección normal
Media	3.196	2.655
Mediana	2.715	2.351
Primer cuartil	1.852	1.580
Tercer cuartil	4.186	3.259
Mínimo	1.094	1.107
Máximo	8.852	6.323
Desviación estándar	1.733	1.309
Coeficiente de variación	54.23	49.29
Error estándar	0.293	0.221

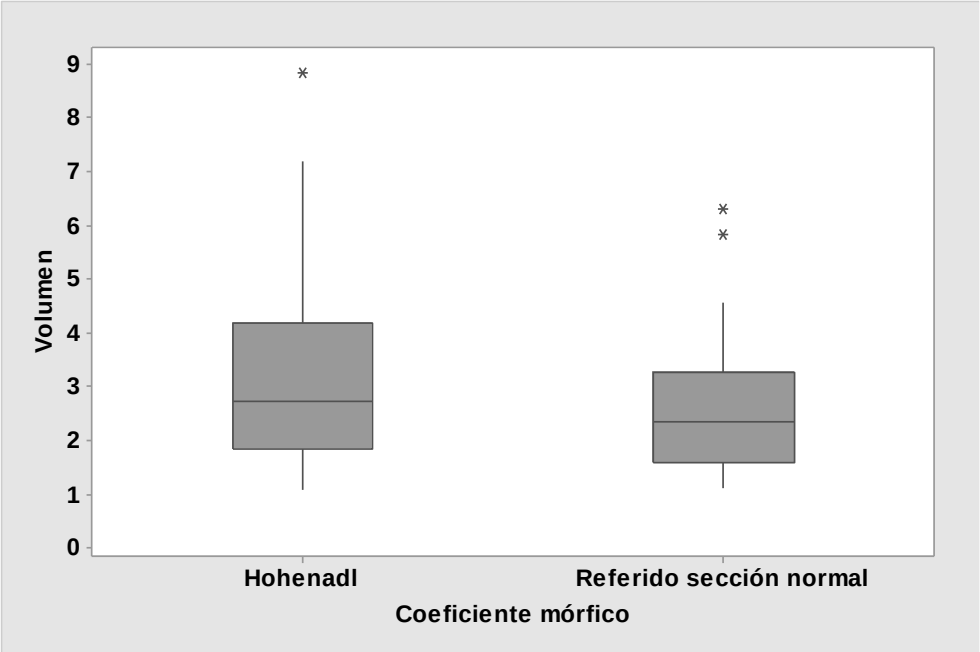


Figura 4. Comparación de las distribuciones de la muestra de árboles del volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

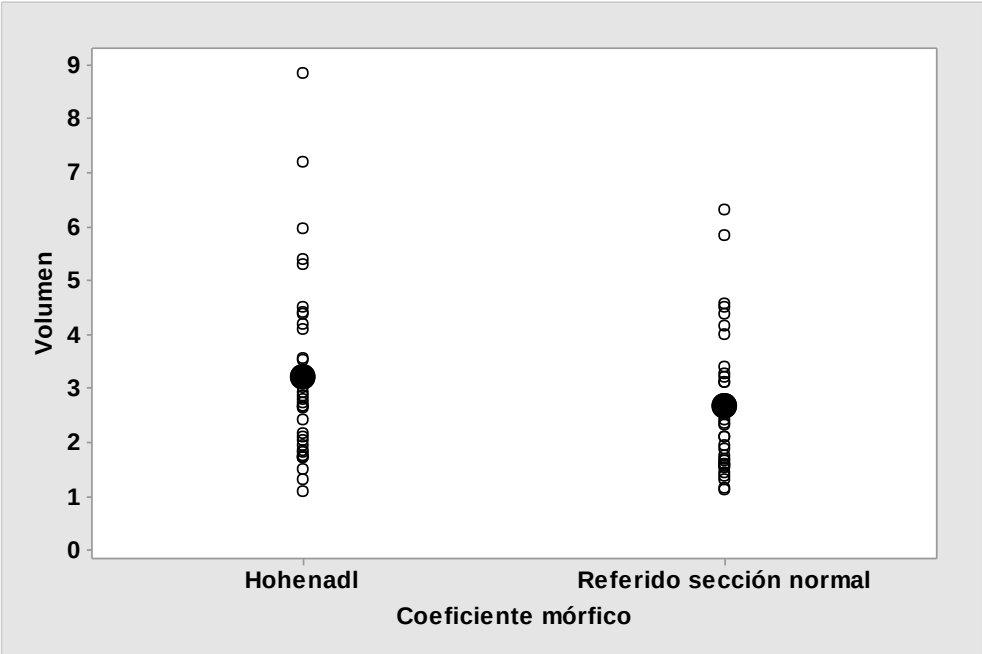


Figura 5. Distribuciones de los valores individuales de los volúmenes calculados con el coeficiente mórfico de Hohenadl y los volúmenes calculados con el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

Al igual que el procedimiento que se siguió con los coeficientes mórficos, para probar las diferencias entre los volúmenes que se calcularon con el coeficiente mórfico de Hohenadl y con el coeficiente mórfico referido a la sección normal se determinó el intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos poblaciones relacionadas o pareadas; y se llevaron a cabo una prueba de hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas y un análisis de varianza con diseño de bloques completos al azar (con los volúmenes como tratamientos y los árboles como bloques).

El intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos poblaciones relacionadas o pareadas, con un 95 % de confianza, estuvo entre 0.316 y 0.766; de modo que, como ese intervalo no incluyó al cero, entonces se permitió afirmar que hubo diferencias significativas entre las medias de los volúmenes.

La prueba de hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas (Cuadro 7), con un nivel de significancia de 0.05, generó un estadístico de prueba *t* de 4.90, correspondiente con un valor de probabilidad significativa de 0.000; la misma que significó que no se pudo aceptar la hipótesis nula de igualdad de medias; lo cual implicó aceptar la hipótesis alterna o hipótesis de investigación, la misma que supone la diferencia entre ambas medias.

Finalmente, el análisis de varianza (Cuadro 8), con diseño de bloques completos al azar (con los volúmenes como tratamientos y los árboles como bloques) tuvo un valor de probabilidad de 0.000 para el coeficiente mórfico y un valor de probabilidad de 0.000 para los árboles. Lo mencionado anteriormente supuso que hubo diferencias significativas entre ambos volúmenes. El análisis de varianza tuvo un valor R^2 de 95.61 % (mayor que en el caso de los coeficientes mórficos), el mismo que mostró que el modelo explicó el 95.61 % de la varianza del volumen, lo que indicó que el modelo se ajustó adecuadamente a los datos.

De manera reiterada, el alto valor de la suma de cuadrados de la fuente de variabilidad árboles señaló que fue un acierto considerar a los árboles como bloques y, por lo tanto, fue un buen juicio el diseño experimental que se seleccionó.

Las tres pruebas inferenciales fueron consistentes con el análisis descriptivo y corroboraron las diferencias entre los volúmenes que se calcularon con base en los dos coeficientes mórficos. Por lo tanto, los volúmenes que se obtuvieron usando un *coeficiente mórfico referido a una sección fija* fue diferente de los volúmenes que se calcularon con un *coeficiente mórfico referido a una sección relativa*.

Cuadro 7. Prueba hipótesis de diferencia de medias para poblaciones relacionadas o pareadas del volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal

	n	Media	Desviación estándar	Error estándar
Coeficiente mórfico de Hohenadl	35	3.196	1.733	0.293
Coeficiente mórfico referido a la sección normal	35	2.655	1.309	0.221
Diferencia	35	0.541	0.654	0.111

Estos resultados fueron consistentes con el estudio de García *et al*. (2013), el mismo que reporta que coeficiente mórfico de Hohenadl es mayor que el coeficiente mórfico referido a la sección normal.

También se procedió a calcular las diferencias entre los volúmenes del fuste (calculados con ambos coeficientes mórficos) menos el volumen de las trozas correspondientes a ese fuste (Cuadro 9). Se encontró que, cuando al volumen del fuste, calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal, se le restó el volumen de las trozas (calculados con la fórmula de Smalian) sólo en el 40 % de los árboles el volumen del fuste excedió al volumen de las trozas. En cambio, cuando al volumen del fuste, calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl, se le restó el volumen de las trozas (calculados con la fórmula de Smalian) en el

88 % de los árboles el volumen del fuste excedió al volumen de las trozas. Este análisis corroboró los análisis descriptivos e inferenciales, antes expuestos, y fortaleció la demostración de que el coeficiente mórfico de Hohenadl genera mayores cálculos de los volúmenes.

Empero, no puede considerarse que el coeficiente mórfico de Hohenadl es mejor, sólo porque genera mayores cálculos de los volúmenes. El mejor desempeño del coeficiente mórfico de Hohenadl radica en que aproxima más los volúmenes reportados en los planes operativos, de los títulos habilitantes con fines maderables, con los volúmenes que se registran en las guías de transporte. En efecto, los testimonios de los regentes forestales, de la Amazonia peruana, señalan que, generalmente, los volúmenes que se registran en las guías de transporte superan a los volúmenes que se registran en los planes operativos, luego de efectuados los censos comerciales. Este fenómeno es particularmente notorio con las especies de la familia de las bombacáceas y de ciertas especies, como, por ejemplo, *Hura crepitans* conocida con el nombre común de *catahua*. Lo ya señalado se debe al uso indiscriminado de los factores mórficos de 0.65 ó 0.70, los cuales se determinaron hace décadas, mediante el empleo del coeficiente mórfico referido a la sección normal, o sea, debido al empleo de un coeficiente mórfico falso o artificial.

La situación, antes descrita, genera el mayor empleo de tiempo y esfuerzo, gastos extras y conflictos entre la autoridad forestal regional y el OSINFOR con los representantes de los títulos habilitantes (concesiones forestales con fines maderables y comunidades nativas), pues ante la falta de concordancia entre los volúmenes de los planes operativos con los de las guías de transporte se hace necesario justificar la discordancia en el *libro de operaciones* del título habilitante; además de que obliga a esperar a que la autoridad forestal y el *Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre* (OSINFOR) emitan las correspondientes resoluciones administrativas.

Resulta sorprendente que, para la Amazonia peruana, no haya reportes sobre el uso de los coeficientes mórficos naturales o verdaderos y que, desde hace décadas, se haya estado empleando un coeficiente mórfico, a todas luces, inadecuado. Lo anterior permite colegir que la investigación forestal no se ha institucionalizado debidamente, de modo que las líneas de investigación referidas a la dasonomía, en universidades, en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), en el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) y otras instituciones no se han seleccionado con base en las demandas de los productores forestales de la ciencias forestales.

Cuadro 8. Análisis de varianza, con diseño de bloques completos al azar, entre el volumen calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl y el volumen calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Coeficiente mórfico	1	5.121	5.1208	23.96	0.000
Árbol	34	153.092	4.5027	21.07	0.000
Error	34	7.266	0.2137		
Total	69	165.479			

Cuadro 9. Diferencias entre los volúmenes de fuste, calculados con el coeficiente mórfico referido a la sección normal y con el coeficiente mórfico de Hohenadl, y los volúmenes de las trozas calculados con la fórmula de Smalian

N°	VF 1.3 - V Smalian*	VH - V Smalian**
1	-0.027	-0.049
2	-0.024	-0.044
3	-0.015	-0.035
4	-0.014	-0.013
5	-0.011	0.038
6	-0.009	0.082
7	-0.009	0.104
8	-0.009	0.116
9	-0.009	0.147
10	-0.009	0.148
11	-0.007	0.169
12	-0.007	0.178
13	-0.006	0.200
14	-0.006	0.250
15	-0.006	0.269
16	-0.006	0.288
17	-0.005	0.319
18	-0.004	0.325
19	-0.004	0.338
20	-0.003	0.348

21	-0.001	0.376
22	0.000	0.383
23	0.000	0.434
24	0.001	0.460
25	0.001	0.546
26	0.002	0.597
27	0.004	0.756
28	0.005	0.800
29	0.006	0.934
30	0.006	1.005
31	0.007	1.231
32	0.007	1.419
33	0.009	1.474
34	0.009	2.524
35	0.012	2.694

* Volumen del fuste calculado con el coeficiente mórfico referido a la sección normal menos el volumen de las trozas calculado con la fórmula de Smalian.
** Volumen del fuste calculado con el coeficiente mórfico de Hohenadl menos el volumen de las trozas calculado con la fórmula de Smalian.

V. CONCLUSIONES

Para el bosque primario intervenido, de la *Sub Estación Experimental Alexander von Humboldt* (distrito Alexander von Humboldt, provincia Padre Abad, región Ucayali); el valor medio y el valor mediano del *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* fue de 0.90 y 0.91; respectivamente.

Los volúmenes de los fustes calculados con el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* se aproximan más a los volúmenes de las trozas, que los volúmenes calculados mediante el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste*.

El *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* tiene un mejor desempeño que el *coeficiente mórfico del fuste referido a la sección normal y a la altura del fuste* para el cálculo de volúmenes de los fustes, en inventarios forestales y censos comerciales.

VI. RECOMENDACIONES

Determinar el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* por especie o grupos de especies.

Determinar el *coeficiente mórfico de hohenadl para el fuste referido a la altura del fuste* por especie en ecosistemas diferentes.

Determinar otros coeficientes mórficos naturales o verdaderos.

VII. BIBLIOGRAFIA

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.

Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: estimación del volumen. Roma, Italia, FAO. 92p.

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.

Estremadoyro Troncoso, JA. 2014. Determinación del factor de forma o coeficiente mórfico de *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) en el consolidado Otorongo - Provincia de Tahuamanu. Tesis Ing. Madre de Dios, Perú, UNAMAD. 118p. Consultado 10 may. 2022. Disponible en https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/106

Figueroa Flores, AC. 2018. Factor de forma de Caryocar amygdaliforme Ruiz & Pav. ex G. Don (Almendro) en bosques de terraza de la amazonía peruana. Tesis Ing. Pucallpa, Perú, UNU. 74 p. Consultado 10 may. 2022. Disponible en http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3816

García Espinoza, GG; Paleo Calderón, C; Hernández Ramos, J; García Magaña, JJ; Muñoz Flores, HJ; García Cuevas, Xavier. 2013. Estimación de coeficientes y cocientes de forma para *Pinus montezumae* Lamb.en San Juan Nuevo, Michoacan. In (Actas). Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical y XXV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria (2, 2013, Tabasco, México), México. p. 536-542.

Honorio Creo, TA. 2021. Factor de forma de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A. Mori, Ya Y. Huang & Prance (cachimbo) y *Brosimun utile* (kunth) oken (panguana) con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton en un bosque de colina baja, Ucayali, Amazonia peruana. Tesis Ing. Yarinacocha, Perú, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. 96 p.

Jara Mamani, A; Fernández Herrera, JD. 2019. Determinación del factor de forma de *Myroxylon balsamum* Harms, *Hymenaea oblongifolia* Huber y *Dipteryx odorata* Willd en el consolidado Otorongo - Provincia de Tahuamanu. Tesis Ing. Madre de Dios, Perú,

UNAMAD. 125p. Consultado 10 may. 2022. Disponible en https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/505López P, C; Ambrosio T, Y. 2009. Dendrometría gráfica. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 98 p.

Ovalle F, D. 2008. Determinación del factor de forma de *Dipteryx micrantha* Harms (shihuahuaco) en el consolidado Otorongo - Provincia de Tahuamanu. Tesis Ing. Madre de Dios, Perú, UNAMAD. 125p. Consultado 10 may. 2022. Disponible en https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/76

Ojeda, W. 2000. Factor de forma preliminar para seis familias de especies forestales tropicales. Revista Forestal del Perú 11(1-2):1-6.

Philip, M S. 1994. Measuring trees and forests. Wallingford, UK, CAB International. 310 p.

Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, CR, IICA, BMZ/GTZ. 561 p.

Rojas Quiñones, GM. 2021. Efecto de la longitud de la troza en el factor de forma de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A. Mori, Ya Y. Huang & Prance (cachimbo) y *Brosimum utile* (Kunth) Oken (panguana) de un bosque de colina baja, región Ucayali, Amazonia Peruana. Tesis Ing. Yarinacocha, Perú, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. 96 p.

Rondeaux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Trad. Diaz de Barrionuevo, A. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 521 p.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Formato de campo

Especie	dap											Altura fuste comercial	10 % Altura de fuste comercial	D 10 % ht
	1.3	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20			

Anexo 2. Inicio de la escalada



Anexo 3. Medición del diámetro del fuste a diferentes alturas



Anexo 4. Medición del diámetro hasta el final de la altura de fuste comercial

